Multisim11 电子电路仿真分析与设计

王廷才 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.com

Multisim 11 电子电路仿真分析与设计

主编　王廷才

参编　马磊娟　曹建生　张新春

田　磊　郑　冰　杨　云

主审　王崇文



机　械　工　业　出　版　社

本书是配合“电工基础”、“电子技术”和“电子线路设计”等课程教学和电子设计竞赛而编写的教材，可作为大中专学校电类各专业的教科书，亦可供从事电工、电子技术设计和应用的科技人员参考。

Multisim 11 是知名的 EDA 软件 EWB5.0 的升级版。本书结合典型案例讲解 Multisim 11 软件的使用方法和仿真分析的操作技巧。本书内容新颖、条理清晰、图文并茂、实例丰富，是一本实用性极强的电子技术实训、实验和设计的教材。

图书在版编目（CIP）数据

Multisim 11 电子电路仿真分析与设计/王廷才主编．—北京：机械工业出版社，2012.8(2014.7 重印)

ISBN 978-7-111-39393-1

Ⅰ.①M… Ⅱ.①王… Ⅲ.①电子电路—计算机仿真—应用软件②电子电路—电路设计—计算机辅助设计—应用软件 Ⅳ.①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 193110 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：牛新国 责任编辑：牛新国 赵玲丽

版式设计：霍永明 责任校对：张 薇

封面设计：路恩中 责任印制：刘 岚

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2014 年 7 月第 1 版第 2 次印刷

184mm×260mm · 13.5 印张 · 334 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-39393-1

定价：34.80元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：(010) 88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：(010) 68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010) 88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010) 88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　言

当今科技发展日新月异，特别是电子产品的设计与制造更是突飞猛进。目前电子行业普遍使用计算机软件进行产品开发、设计、制造，Multisim 11 是应用最广泛的软件之一。

Multisim 11 功能相当强大，除了能够卓越地完成电工电子技术的虚拟仿真外，其在 LabVIEW 虚拟仪器和单片机仿真等技术领域都有更多的创新和提高。该软件工作界面形象直观、操作方便、易学易用，可为大中专院校的“电子技术”课程的实践教学提供良好的仿真训练。操作者只要在计算机上安装 Multisim 11 软件，就相当于拥有了一个器件齐全、设备精良的实验室，可以随心所欲地搭接各种电路，接上虚拟仪器仪表，运行仿真后可以得到准确的数据和直观的波形，使实验做得既快又准，不仅有利于学生对理论知识的理解，而且能强化学生实践能力的培养。对于从事电子技术产品设计的工程师们，使用 Multisim 11 可以随时修改设计方案，完善电路设计，提高设计质量。

本书对 Multisim 11 的使用方法和操作技巧结合实例进行了阐述，在内容编排上，由浅入深、由易到难，循序渐进，符合认知规律。

全书共 6 章，第 1 章介绍 Multisim 11 的发展与基本功能、窗口界面和菜单命令，第 2 章介绍 Multisim 11 的元器件库与元器件库管理，第 3 章介绍 Multisim 11 虚拟仪器仪表的使用，第 4 章介绍了电子电路原理图的设计，第 5 章结合实例介绍 Multisim 11 提供的 18 种仿真分析的方法，第 6 章为电子电路仿真分析与设计。由于 Multisim 11 是国外软件，其电子元器件符号及标称单位与我国标准会有差异，例如，电容的标称单位“μF”写为“uF”等，请读者阅读时注意。

本书由河南工业职业技术学院王廷才主编，其中，杨云编写第 1 章，张新春编写第 2 章，田磊编写第 3 章，曹建生编写第 4 章，郑冰编写第 5 章，马磊娟编写第 6 章，全书由王廷才统稿。特邀请北京理工大学王崇文教授为本书主审。在编写过程中，作者参阅了许多专家的论著资料，在此表示深切的谢意。

由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编　者

目　　录

前言

第 1 章　概述 …… 1

1.1　Multisim 11 的发展与基本功能 …… 1

1.1.1　Multisim 11 的发展 …… 1

1.1.2　Multisim 11 的基本功能 …… 1

1.1.3　Multisim 11 的运行环境 …… 2

1.1.4　Multisim 11 的安装 …… 2

1.2　Multisim 11 的窗口界面 …… 2

1.2.1　Multisim 11 的启动 …… 2

1.2.2　Multisim 11 的主窗口界面简介 …… 2

1.2.3　Multisim 11 的工具栏 …… 2

1.2.4　电路窗口 …… 6

1.2.5　Design ToolBox（设计工具箱） …… 6

1.2.6　Sheet（数据表格栏） …… 6

1.2.7　Status Bar（状态栏） …… 6

1.3　Multisim 11 的菜单命令 …… 7

1.3.1　File（文件） …… 7

1.3.2　Edit（编辑） …… 8

1.3.3　View（视图） …… 10

1.3.4　Place（放置） …… 11

1.3.5　MCU（微控制器） …… 13

1.3.6　Simulate（仿真） …… 13

1.3.7　Transfer（文件输出） …… 14

1.3.8　Tools（工具） …… 15

1.3.9　Reports（报告） …… 15

1.3.10　Options（选项） …… 16

1.3.11　Window（窗口） …… 16

1.3.12　Help（帮助） …… 16

思考题 …… 17

第 2 章　元器件库与元器件库管理 …… 18

2.1　Multisim 11 的元器件库 …… 18

2.1.1　Sources（电源器件库） …… 18

2.1.2　Basic（基本元器件库） …… 19

2.1.3　Diodes（二极管器件库） …… 20

2.1.4　Transistors（晶体管器件库） …… 21

2.1.5　Analog（模拟集成器件库） …… 21

2.1.6　TTL（TTL 器件库） …… 22

2.1.7　CMOS（CMOS 器件库） …… 23

2.1.8　Misc Digital（其他数字器件库） …… 23

2.1.9　Mixed（混合器件库） …… 24

2.1.10　Indicators（指示器件库） …… 25

2.1.11　Power（电源器件库） …… 25

2.1.12　Misc（杂项器件库） …… 25

2.1.13　Advanced Peripherals（高级外围设备器件库） …… 26

2.1.14　RF（射频器件库） …… 27

2.1.15　Electro _ Mechanical（机电器件库） …… 28

2.1.16　NI _ Components（NI 器件库） …… 28

2.1.17　MCU Module（微控制器器件库） …… 28

2.2　Multisim 11 的虚拟元器件 …… 29

2.2.1　虚拟模拟元器件 …… 30

2.2.2　虚拟基本元器件 …… 30

2.2.3　虚拟二极管器件 …… 31

2.2.4　虚拟晶体管器件 …… 31

2.2.5　虚拟测量器件 …… 31

2.2.6　虚拟杂项器件 …… 32

2.2.7　虚拟电源 …… 32

2.2.8　虚拟定值元器件 …… 33

2.2.9　虚拟信号源器件 …… 33

2.3　元器件符号编辑器 …… 34

2.3.1　仿真元器件通常所具有的信息 …… 34

2.3.2　元器件符号编辑器的使用 …… 35

2.4　创建仿真元器件 …… 39

2.4.1　元器件创建向导第 1 步 …… 39

2.4.2　元器件创建向导第 2 步 …… 40

2.4.3　元器件创建向导第 3 步 …… 41

2.4.4　元器件创建向导第 4 步 …… 41

2.4.5　元器件创建向导第 5 步 …… 41

2.4.6　元器件创建向导第 6 步 …… 42

2.4.7　元器件创建向导第 7 步 …… 43

2.4.8　元器件创建向导第8步 …………… 43
2.5　元器件查找和元器件库管理 …………… 44
2.5.1　元器件查找 …………… 44
2.5.2　元器件库的管理 …………… 45
思考题 …………… 48
第3章　虚拟仪器仪表的使用 …………… 49
3.1　电压表 …………… 49
3.1.1　电压表的图标 …………… 49
3.1.2　电压表的设置 …………… 49
3.1.3　电压表的连接 …………… 50
3.2　电流表 …………… 50
3.2.1　电流表的图标 …………… 50
3.2.2　电流表的设置 …………… 50
3.2.3　电流表的连接 …………… 50
3.3　数字万用表 …………… 51
3.3.1　数字万用表的图标和面板 …………… 51
3.3.2　数字万用表的内部参数设置 …………… 51
3.3.3　数字万用表的使用方法 …………… 52
3.4　函数信号发生器 …………… 53
3.4.1　函数信号发生器的图标和面板 …………… 53
3.4.2　连接 …………… 53
3.4.3　面板设置 …………… 53
3.5　功率表 …………… 54
3.5.1　功率表的图标和面板 …………… 54
3.5.2　连接 …………… 54
3.5.3　面板 …………… 54
3.5.4　应用实例 …………… 54
3.6　双通道示波器和四通道示波器 …………… 55
3.6.1　Oscilloscope（双通道示波器）的图标和面板 …………… 55
3.6.2　双通道示波器的使用 …………… 55
3.6.3　应用实例 …………… 57
3.6.4　Channel Oscilloscope（四通道示波器） …………… 58
3.7　波特图示仪 …………… 58
3.7.1　波特图示仪的图标和面板 …………… 58
3.7.2　连接使用 …………… 60
3.8　频率计 …………… 60
3.8.1　频率计的图标和面板 …………… 60
3.8.2　连接使用 …………… 61
3.9　数字信号发生器 …………… 61
3.9.1　数字信号发生器的图标和面板 …………… 61
3.9.2　数字信号发生器使用设置 …………… 62
3.10　逻辑分析仪 …………… 63
3.10.1　逻辑分析仪的图标和面板 …………… 63
3.10.2　逻辑分析仪的设置 …………… 64
3.10.3　应用实例 …………… 65
3.11　逻辑转换仪 …………… 66
3.11.1　逻辑转换仪的图标和面板 …………… 66
3.11.2　逻辑转换仪的使用 …………… 67
3.12　伏安特性分析仪 …………… 69
3.12.1　伏安特性分析仪的图标和面板 …………… 69
3.12.2　伏安特性分析仪的设置 …………… 70
3.13　失真分析仪 …………… 72
3.13.1　失真分析仪的图标和面板 …………… 72
3.13.2　失真分析仪的使用与设置 …………… 72
3.14　频谱分析仪 …………… 73
3.14.1　频谱分析仪的图标和面板 …………… 73
3.14.2　频谱分析仪的使用与设置 …………… 73
3.15　网络分析仪 …………… 75
3.15.1　网络分析仪的图标和面板 …………… 75
3.15.2　网络分析仪的使用操作 …………… 75
3.16　安捷伦函数信号发生器 …………… 78
3.16.1　安捷伦函数信号发生器的图标和面板 …………… 78
3.16.2　Agilent 33120A 面板上按钮的主要功能 …………… 78
3.16.3　Agilent 33120A 产生的标准波形 …………… 79
3.17　安捷伦数字万用表 …………… 82
3.17.1　安捷伦数字万用表的图标和面板 …………… 82
3.17.2　安捷伦数字万用表的使用 …………… 82
3.17.3　Agilent 34401A 量程的选择 …………… 83
3.18　安捷伦示波器 …………… 83
3.18.1　安捷伦示波器的图标和面板 …………… 83
3.18.2　Agilent 54622D 的校正 …………… 84
3.18.3　Agilent 54622D 示波器的基本操作 …………… 84
3.18.4　示波器触发方式的调整 …………… 87
3.19　泰克示波器 …………… 88
3.19.1　泰克示波器的图标和面板 …………… 88
3.19.2　泰克示波器的特性 …………… 88
3.20　测量探针 …………… 91
3.21　电流探针 …………… 91
3.22　LabVIEW 虚拟仪器 …………… 92

3.22.1 传声器（Microphone） …… 92
3.22.2 扬声器（Speaker） …… 93
3.22.3 信号发生器（Signal Generator） …… 94
3.22.4 信号分析仪（Signal Analyzer） …… 94
思考题 …… 95
第4章 电子电路原理图设计 …… 96
4.1 电子电路的操作界面设置 …… 96
4.1.1 总体参数设置 …… 96
4.1.2 电路图表属性设置 …… 99
4.1.3 个性化标题栏的设置 …… 102
4.2 放置元器件 …… 104
4.2.1 从元器件工具栏的元器件库中选取 …… 104
4.2.2 使用菜单命令放置元器件 …… 105
4.2.3 使用右键菜单命令放置元器件 …… 105
4.2.4 如何正确使用虚拟元器件 …… 105
4.2.5 对电路窗口上的元器件操作 …… 106
4.3 连接线路 …… 107
4.3.1 两元器件引脚之间连线 …… 107
4.3.2 放置节点 …… 107
4.3.3 元器件引脚与线路连接 …… 108
4.3.4 线路之间的连接 …… 108
4.3.5 放置总线 …… 109
4.3.6 调整导线位置 …… 110
4.3.7 设置连线与节点的颜色 …… 111
4.3.8 删除连线和节点 …… 111
4.3.9 放置输入/输出端点 …… 111
4.4 子电路 …… 112
4.4.1 子电路的概念 …… 112
4.4.2 子电路的创建 …… 112
4.5 文字编辑 …… 113
4.5.1 放置文字 …… 113
4.5.2 放置注释 …… 114
思考题 …… 115
第5章 电子电路仿真分析 …… 116
5.1 电子电路仿真的基本原理及注意问题 …… 116
5.1.1 电路仿真的基本原理 …… 116
5.1.2 电路仿真分析的方法步骤 …… 116
5.1.3 数字电路仿真分析应注意的问题 …… 116
5.1.4 仿真过程的收敛和分析失效问题 …… 117
5.1.5 直流工作点分析显示出错时的解决办法 …… 118
5.1.6 在瞬态分析中仿真不收敛或分析失效问题的检查步骤 …… 118
5.2 直流工作点分析 …… 118
5.2.1 建立要分析的电路 …… 118
5.2.2 分析设置 …… 119
5.2.3 仿真分析 …… 122
5.3 交流分析 …… 122
5.3.1 建立要分析的电路 …… 122
5.3.2 分析设置 …… 122
5.3.3 仿真分析 …… 124
5.4 瞬态分析 …… 124
5.4.1 建立要分析的电路 …… 124
5.4.2 分析设置 …… 124
5.4.3 仿真分析 …… 126
5.5 傅里叶分析 …… 126
5.5.1 建立要分析的电路 …… 126
5.5.2 分析设置 …… 127
5.5.3 仿真分析 …… 128
5.6 噪声分析 …… 130
5.6.1 建立要分析的电路 …… 130
5.6.2 分析设置 …… 130
5.6.3 运行仿真分析 …… 132
5.7 噪声系数分析 …… 132
5.7.1 噪声系数分析设置 …… 132
5.7.2 运行仿真分析 …… 132
5.8 失真分析 …… 133
5.8.1 建立要分析的电路 …… 134
5.8.2 分析设置 …… 134
5.8.3 运行仿真分析 …… 135
5.9 直流扫描分析 …… 135
5.9.1 建立要分析的电路 …… 136
5.9.2 仿真设置 …… 136
5.9.3 运行仿真分析 …… 137
5.10 灵敏度分析 …… 137
5.10.1 建立要分析的电路 …… 137
5.10.2 仿真设置 …… 138
5.10.3 运行仿真分析 …… 138
5.11 参数扫描分析 …… 139
5.11.1 建立要分析的电路 …… 140
5.11.2 分析设置 …… 140
5.11.3 运行仿真分析 …… 142

5.12　温度扫描分析 …… 142
5.12.1　建立要分析的电路 …… 142
5.12.2　分析设置 …… 143
5.12.3　运行仿真分析 …… 143
5.13　极点—零点分析 …… 144
5.13.1　建立要分析的电路 …… 144
5.13.2　分析设置 …… 144
5.13.3　运行仿真分析 …… 145
5.14　传递函数分析 …… 146
5.14.1　建立要分析的电路 …… 146
5.14.2　分析设置 …… 146
5.14.3　运行仿真分析 …… 147
5.15　最坏情况分析 …… 147
5.15.1　建立要分析的电路 …… 147
5.15.2　分析设置 …… 148
5.15.3　运行仿真分析 …… 150
5.16　蒙特卡罗分析 …… 151
5.16.1　建立要分析的电路 …… 151
5.16.2　分析设置 …… 151
5.16.3　运行仿真分析 …… 153
5.17　布线宽度分析 …… 153
5.17.1　建立要分析的电路 …… 153
5.17.2　分析设置 …… 153
5.17.3　运行仿真分析 …… 154
5.18　批处理分析 …… 155
5.18.1　建立要分析的电路 …… 155
5.18.2　分析设置 …… 155
5.18.3　运行仿真分析 …… 156
5.19　用户自定义分析 …… 157
思考题 …… 158
第6章　电子电路仿真分析与设计 …… 159
6.1　RC一阶电路仿真分析 …… 159
6.1.1　RC一阶电路的特点 …… 159
6.1.2　搭建RC一阶仿真电路 …… 159
6.1.3　RC一阶动态电路仿真分析 …… 159
6.2　RLC二阶动态电路仿真分析 …… 162
6.2.1　RLC二阶电路的特点 …… 162
6.2.2　搭建RLC二阶仿真电路 …… 163
6.2.3　仿真分析 …… 164
6.3　RLC串联谐振电路仿真分析 …… 165
6.3.1　RLC串联谐振电路特点 …… 165
6.3.2　RLC串联谐振电路的仿真分析 …… 165
6.4　半波整流电路仿真分析 …… 167
6.4.1　半波整流电路原理简述 …… 167
6.4.2　搭建半波整流仿真分析电路 …… 168
6.4.3　仿真分析 …… 168
6.5　桥式整流滤波电路仿真分析 …… 168
6.5.1　电路原理简述 …… 168
6.5.2　搭建桥式整流滤波仿真电路 …… 169
6.5.3　桥式整流滤波电路仿真分析 …… 169
6.6　单管共射放大电路仿真分析 …… 170
6.6.1　单管共射放大电路原理简述 …… 170
6.6.2　搭建单管共射放大仿真电路 …… 171
6.6.3　单管共射放大电路仿真分析 …… 171
6.7　乙类功率放大电路仿真分析 …… 173
6.7.1　乙类功率放大电路原理简述 …… 173
6.7.2　搭建乙类功率放大仿真电路 …… 174
6.7.3　仿真分析 …… 174
6.8　结型场效应晶体管共源放大器仿真分析 …… 175
6.8.1　结型场效应晶体管共源放大电路原理简述 …… 175
6.8.2　搭建结型场效应晶体管共源放大仿真电路 …… 176
6.8.3　仿真分析 …… 176
6.9　电压串联负反馈放大器仿真分析 …… 177
6.9.1　电压串联负反馈放大器原理简述 …… 177
6.9.2　搭建电压串联负反馈放大器仿真电路 …… 178
6.9.3　仿真分析 …… 178
6.10　反相比例运算放大器仿真分析 …… 179
6.10.1　反相比例运算放大器原理简述 …… 179
6.10.2　搭建反相比例运算放大器仿真电路 …… 179
6.10.3　仿真分析 …… 179
6.11　加法电路仿真分析 …… 180
6.11.1　加法电路原理简述 …… 180
6.11.2　搭建仿真电路 …… 181
6.11.3　仿真分析 …… 181
6.12　RC正弦波振荡器仿真分析 …… 182
6.12.1　RC正弦波振荡电路原理简述 …… 182
6.12.2　搭建仿真电路 …… 183
6.12.3　RC正弦波振荡电路仿真分析 …… 184
6.13　三端可调输出集成稳压器

仿真分析 ………………………………… 184
6.13.1 三端可调输出集成稳压器原理简述 ………………………… 184
6.13.2 搭建仿真电路 …………………… 185
6.13.3 仿真分析 ………………………… 185
6.14 编码器 74LS148D 的功能测试与仿真分析 ………………………………… 186
6.14.1 编码器 74LS148D 的功能测试电路 ………………………… 186
6.14.2 仿真分析 ………………………… 187
6.15 译码器 74LS138N 的功能测试与仿真分析 ………………………………… 187
6.15.1 译码器 74LS138N 的功能测试电路 ………………………… 187
6.15.2 仿真分析 ………………………… 188
6.16 集成 D 触发器的功能测试与仿真分析 ………………………………… 189
6.16.1 集成 D 触发器的功能测试电路 ………………………… 189
6.16.2 集成 D 触发器的应用设计过程与仿真分析 ………………………… 189
6.17 JK 触发器的功能测试与仿真分析 … 190
6.17.1 JK 触发器的功能测试 ………… 190
6.17.2 仿真分析 ………………………… 191
6.18 移位寄存器 74LS194D 的功能测试与仿真分析 ………………………………… 192
6.18.1 双向移位寄存器 74LS194D 的功能测试 ………………………… 192
6.18.2 仿真分析 ………………………… 193
6.19 计数器 74LS192D 的功能测试与仿真分析 ………………………………… 194
6.19.1 计数器 74LS192D 的功能测试电路 ………………………… 194
6.19.2 仿真分析 ………………………… 195
6.20 单稳态触发器设计与仿真分析 ……… 196
6.20.1 单稳态触发器应用设计分析 …… 196
6.20.2 单稳态触发器的应用设计过程与仿真分析 ………………………… 196
6.21 方波发生器设计与仿真分析 ………… 197
6.21.1 方波发生器设计分析 …………… 197
6.21.2 方波发生器应用设计过程与仿真分析 ………………………… 198
6.22 数–模转换器设计与仿真分析 ……… 198
6.22.1 数–模转换器设计分析 ………… 198
6.22.2 数–模转换器应用设计过程与仿真分析 ………………………… 199
6.23 模–数转换器设计与仿真分析 ……… 200
6.23.1 模–数转换器设计分析 ………… 200
6.23.2 模–数转换器应用设计过程与仿真分析 ………………………… 200
6.24 单片机控制流水灯电路设计与仿真分析 ………………………………… 201
6.24.1 单片机控制流水灯电路设计分析 ………………………… 201
6.24.2 单片机控制流水灯设计电路过程与仿真分析 ………………………… 201
参考文献 ………………………………………… 208

第 1 章　概　　述

1.1　Multisim 11 的发展与基本功能

1.1.1　Multisim 11 的发展

Multisim 是 EWB5.0 的升级版，2001 年加拿大 Interactive Image Technologies Ltd（简称 IIT 公司）将升级的 EWB6.0 更名为 Multisim 2001，此后，又相继推出了 Multisim 7.0、Multisim 8.0 等版本。2005 年加拿大 IIT 公司并入美国国家仪器公司（National Instrument，简称 NI 公司），NI 公司又相继推出 Multisim 9.0、Multisim10.0 和 Multisim11.0 版本。

Multisim 11 继承了 EWB 软件的界面形象直观、操作方便、易学易用等突出优点，同时在功能和操作方面做了较大规模的改动。昔日的 EWB 已无法与 NI Multisim 11 相提并论了，可以这么说，EWB 的主要功能在于电工和电子电路的虚拟仿真，而 NI Multisim 11 软件除了更卓越地完成电工电子技术的虚拟仿真外，在 LabVIEW 虚拟仪器和单片机仿真等技术领域都有更多的创新和提高。

1.1.2　Multisim 11 的基本功能

Multisim 11 的功能繁多，现将其基本功能简述如下。

1. 建立电路原理图方便快捷

Multisim 11 为用户提供数量众多的现实元器件和虚拟元器件，分门别类地存放在 18 个元器件库中，绘制电路图时只需打开元器件库，再用鼠标左键选中要用的元器件，并把它拖放到工作区，当光标移动到元器件的引脚时，软件会自动产生一个带十字的黑点，进入到连线状态，单击鼠标左键确认后，移动鼠标即可实现连线，搭接电路原理图既方便又快捷。

2. 用虚拟仪器仪表测试电路性能参数及波形准确直观

Multisim 11 为用户提供 22 种虚拟仪器仪表，包括数字万用表、函数信号发生器、功率表、双踪示波器、4 通道示波器、波特图示仪、频率计、数字信号发生器、逻辑分析仪、逻辑转换仪、IV 分析仪、失真分析仪、频谱分析仪、网络分析仪、安捷伦函数发生器、安捷伦万用表、安捷伦示波器、泰克示波器、测量探针、LabVIEW 测试仪 NI ELVISmx 测试仪和电流探针等，这些仪器仪表不仅外形和使用方法与实际仪器相同，而且测试的数值和波形更为精确可靠。用户可方便地在电路图中接入这些虚拟仪器仪表测试电路的性能参数及波形。

3. 完备的性能分析手段

Multisim 11 可以进行直流工作点分析、交流分析、瞬态分析、傅里叶分析、噪声分析、噪声图形分析、失真度分析、直流扫描分析、灵敏度分析、参数扫描分析、温度扫描分析、极点 – 零点分析、传输函数分析、最坏情况分析、蒙特卡罗分析、铜箔宽度分析、批处理分析等，分析结果以数值或波形直观地显示出来。Multisim 11 既可对模拟电路或数字电路分别

进行仿真，也可进行数模混合仿真和射频（RF）电路的仿真。仿真失败时会显示错误信息、提示可能出错的原因，仿真结果可随时存储和打印，基本满足电子电路设计和分析的要求。

4. 完美的兼容能力

Multisim 11 可以打开先前版本 EWB 和 Multisim 文件，还能打开 Spice 网络表文件、Orcad 文件、Ulticap 文件等，并自动形成相应的电路原理图。也可将 Multisim 11 建立的电路原理图转换为网络表文件，提供给 Ultiboard 11 模块或其他 EDA 软件（如 Protel、Orcad 等）进行印制电路板图的自动布局和自动布线。

1.1.3 Multisim 11 的运行环境

Multisim 11 安装和运行都要求计算机满足一定的配置要求，才能可靠地工作，具体配置要求如下：

运行 Multisim 11 时，推荐系统基本配置要求：

1）操作系统 Windows 2000 SP3/XP；

2）CPU：Pentium 4 以上；

3）内存 512MB 以上；

4）显示器分辨率 1024 × 768 像素。

1.1.4 Multisim 11 的安装

Multisim 11 的安装与其他应用软件的安装方法类似，只需根据软件安装盘在安装过程中的提示进行相应的设置即可，但最后需要重新启动计算机才能完成安装。

1.2 Multisim 11 的窗口界面

1.2.1 Multisim 11 的启动

Multisim 11 安装完毕后，会在计算机桌面生成一个“Multisim”快捷方式图标，如图 1-1 所示。用鼠标左键双击该图标即可启动，如图 1-2 所示。启动后即进入 Multisim 11 的主窗口，如图 1-3 所示。

1.2.2 Multisim 11 的主窗口界面简介

图 1-4 所示为创建晶体管放大电路仿真图后 Multisim 11 的主窗口界面，现简介如下：主窗口的最上部是标题栏，显示当前运行的软件和原理图文件名称，接着是菜单栏，再向下一行是标准工具栏、视图工具栏、主工具栏和仿真开关栏，第 4 行是元器件工具栏。主窗口左侧是设计工具箱。中部最大的区域是电路窗口，用于建立电路和进行电路仿真分析。主窗口的右侧是仪器工具栏。主窗口的下方是数据表格栏和状态栏。

1.2.3 Multisim 11 的工具栏

为方便用户操作，Multisim 11 设置了多种工具栏，这些工具栏可以通过执行菜单命令 View \ Toolbars 打开或者关闭，如图 1-5 所示。



图 1-1　桌面上 Multisim 11 快捷方式图标

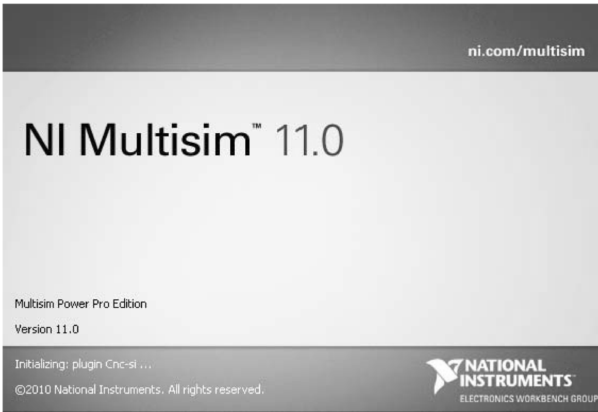


图 1-2　Multisim 11 启动时的画面

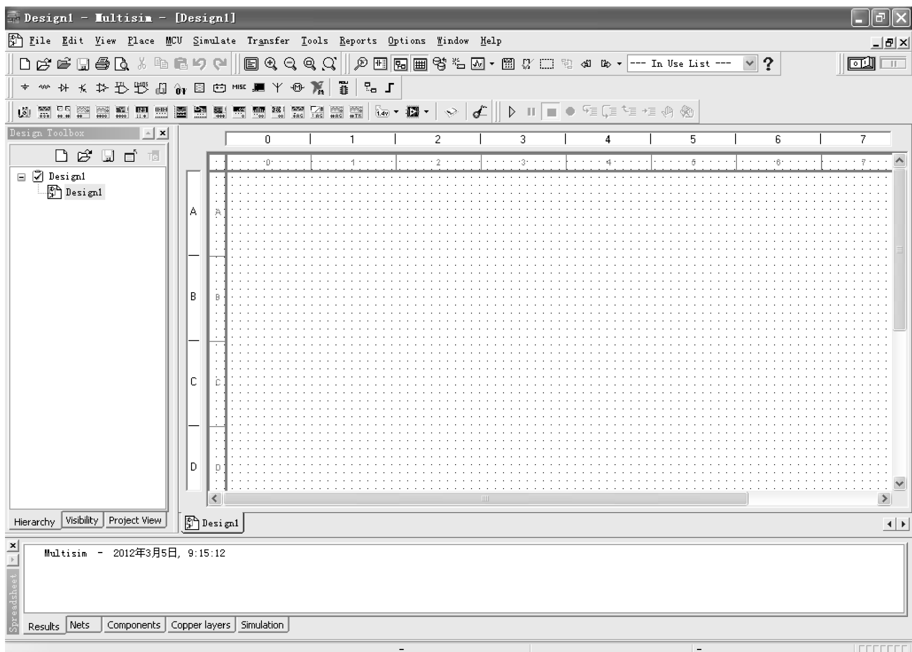


图 1-3　启动后的 Multisim 11 的主窗口

下面介绍几个常用的工具栏。

1. Standard（标准工具栏）

Multisim 11 的标准工具栏如图 1-6 所示。

图中标准工具栏的按钮与其他软件的标准工具栏意义大致相同，从左至右分别为：新建文件、打开文件、打开设计范例、存盘、打印、打印预览、剪切、复制、粘贴、撤消、重做。

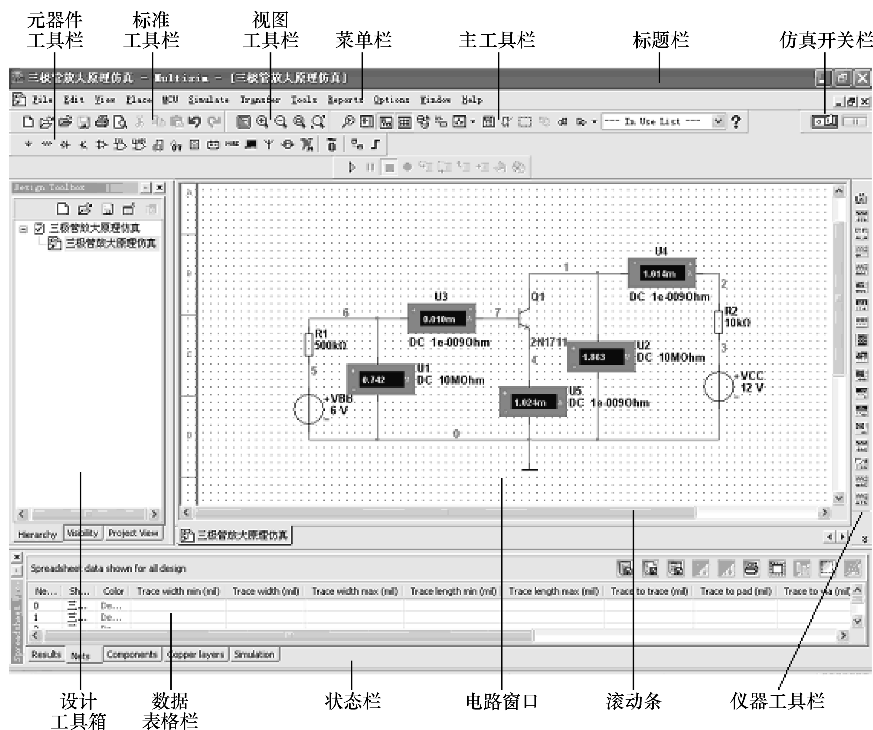


图 1-4　创建晶体管放大电路仿真图后 Multisim 11 的主窗口界面



图 1-5　Multisim 11 打开或关闭工具栏命令

2. View（视图工具栏）

Multisim 11 的视图工具栏如图 1-7 所示。

视图工具栏的按钮从左至右依次为：切换全屏幕、放大、缩小、缩放到已选择范围、缩放到页等功能操作。



图 1-6　标准工具栏



图 1-7　视图工具栏

3. Main（主工具栏）

Multisim 11 的主工具栏如图 1-8 所示。

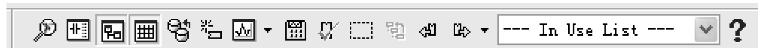


图 1-8　主工具栏

主工具栏的功能按钮从左至右依次为：查找例图、显示或隐藏网络表观察器、显示或隐藏设计工具箱、显示或隐藏数据表格工具栏、元器件库管理、创建元器件、图形/分析列表、后处理、电气规则检查、区域截图、跳转到父图纸、Ultiboard 后标注、Ultiboard 前标注、电路中使用的元器件列表、帮助等。

4. Components（元器件工具栏）

Multisim 11 的元器件工具栏按元器件模型分门别类地放到 19 个元器件库中，每个元器件库中放置同一类型的元器件。由这 19 个元器件库按钮（以元器件符号区分）组成元器件工具栏，如图 1-9 所示。元器件工具栏通常放置在工作窗口的上边。不过，也可以任意移动这一工具栏，移动方法为，将光标指向工具栏端部的双线处，按住鼠标左键不放，拖动工具栏即可。

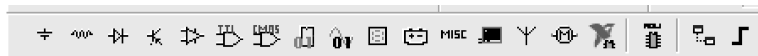


图 1-9　元器件工具栏

图 1-9 所示的 19 个元器件库按钮从左至右分别是：Sources（信号源库）、Basic（基本元器件库）、Diodes（二极管库）、Transistors（晶体管库）、Analog（模拟元器件库）、TTL（TTL 元器件库）、CMOS（CMOS 元器件库）、Misc Digital（杂项数字元器件库）、Mixed（混合元器件库）、Indicators（指示元器件库）、Power Components（电力元器件库）、Misc（杂项元器件库）、advanced Peripherals（先进外设元器件库）、RF（射频元器件库）、Electro－Mechanical（机电类元器件库）、NI Components（NI 元器件库）、MCU Module（微控制器类元器件库）、Hierarchical Block（放置分层模块）和 Bus（放置总线）。

5. Instruments（仪器工具栏）

Multisim 11 的仪器工具栏如图 1-10 所示。该工具栏有 22 种用来对电路进行测试的虚拟仪器，习惯上将该工具栏放置在窗口的右侧，为了使用方便，也可以将其移动到任意位置。



图 1-10　仪器工具栏

这 22 个虚拟仪器从左至右分别是：Multimeter（数字万用表）、Function Generator（函数信号发生器）、Wattmeter（功率表）、Oscilloscope（双踪示波器）、4 Channel Oscilloscope（4 通道示波器）、Bode Plotter（波特图示仪）、Frequency Counter（频率计）、Word Generator（数字信号发生器）、Logic Analyzer（逻辑分析仪）、Logic Converter（逻辑转换仪）、IV – Analyzer（IV 分析仪）、Distortion Analyzer（失真分析仪）、Spectrum Analyzer（频谱分析仪）、Network Analyzer（网络分析仪）、Agilent Function Generator（安捷伦函数发生器）、Agilent Multimeter（安捷伦万用表）、Agilent Oscilloscope（安捷伦示波器）、Tektronix Oscilloscope（泰克示波器）、Measurement Probe（测量探针）、LabVIEW Instruments（LabVIEW 测试仪）、NI ELVISmx Instruments（NI ELVISmx 测试仪）和 Current Probe（电流探针）等。

6. Simulation（仿真开关工具栏）

Multisim 11 的仿真开关工具栏如图 1-11 所示。



图 1-11　仿真开关工具栏

仿真开关工具栏共有“启动/停止”和“暂停/恢复”两个按钮，用来控制仿真进程。

1.2.4　电路窗口

主窗口中间最大的区域是电路窗口，也称为 Workspace，是一个对电路操作的平台，在此窗口可进行电路图的编辑绘制、仿真分析及波形数据显示等操作。

1.2.5　Design ToolBox（设计工具箱）

主窗口左侧区域是设计工具箱，如图 1-12 所示。

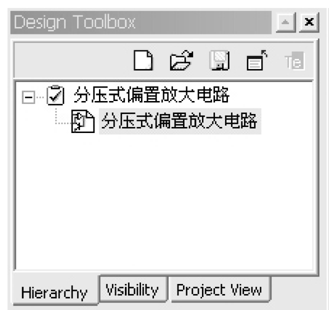


图 1-12　设计工具箱

设计工具箱是设计文件的管理窗口，其下方有 Hierarchy（层次）、Visibility（可见）和 Project View（项目视图）三个标签。

层次选项用于显示当前打开的原理图目录，可见选项用于设置是否显示电路的各种参数标识，项目视图用于所建项目的组成文件。

1.2.6　Sheet（数据表格栏）

数据表格栏如图 1-13 所示。

图 1-13　数据表格栏

数据表格栏用来显示有关当前操作的结果、网络表、元器件、层复制和仿真的有关信息。

1.2.7　Status Bar（状态栏）

状态栏位于主窗口的最下面，用来显示有关当前操作以及鼠标所指条目的有关信息。

1.3　Multisim 11 的菜单命令

Multisim 11 的命令栏共有 12 项主菜单命令，如图 1-14 所示。当单击主菜单命令时，会弹出下拉菜单命令。下面介绍各项主菜单命令及其下拉菜单命令的功能及使用操作。

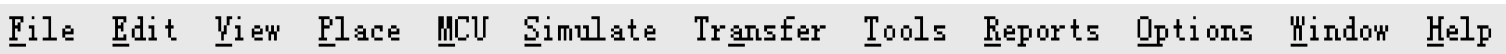


图 1-14　Multisim 11 的主菜单命令

1.3.1　File（文件）

该菜单命令主要用于管理电路文件，如打开、存盘、打印和退出等。

单击主菜单栏的 File 命令，弹出如图 1-15 所示的下拉菜单。

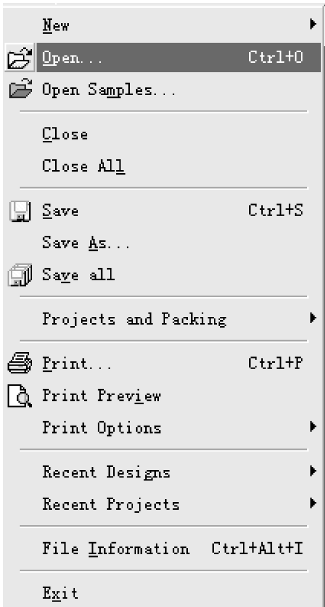


图 1-15　File 命令的下拉菜单

下拉菜单中的命令及功能如下：

（1）New：执行该命令可以创建一个无标题的新电路。

（2）Open…：执行该命令是要打开一个原已建立的电路，窗口将显示要打开文件的对话框，如果有必要可更改目录路径或文件夹，找到你要打开的文件。但注意该软件只能打开 Multisim 11 支持的文件类型。

（3）Open Samples…：执行该命令是要打开一个例子文件。

（4）Close：关闭当前工作区内的文件。

（5）Close All：关闭当前打开的所有文件。

（6）Save：用该命令保存当前电路文件。如果是新建的原理图文件，则会出现一个“另存为”对话框，如图 1-16 所示。可以通过改变路径和文件名保存文件。保存时会自动为文件名加上 . ms11 的扩展名。

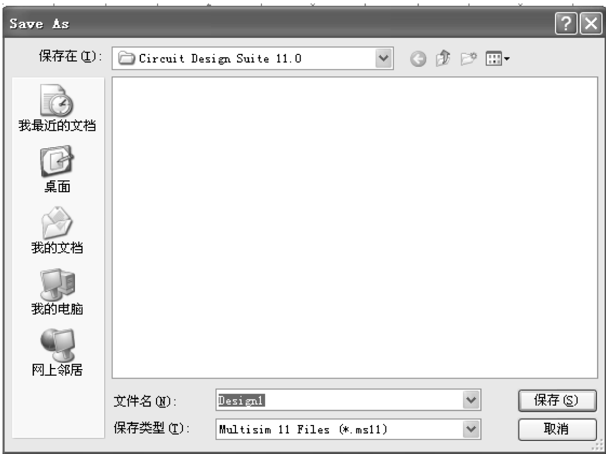


图 1-16　“另存为”对话框

（7） Save As…：该命令是以新文件名保存当前电路文件，执行该命令同样会弹出图 1-16 所示“另存为”对话框，可以通过改变路径和文件名保存文件。

（8） Save All：保存所有已打开的电路图文件。

（9） Projects and Packing：有关项目文件和打包的操作，通过下拉菜单项执行。

（10） Print…：打印。

（11） Print Preview：打印预览。

（12） Print Options：打印选项设置。

（13） Recent Designs：最近打开的电路图文件。

（14） Recent Projects：最近打开的项目文件。

（15） File Information：文件信息。

（16） Exit：关闭当前电路并退出 Multisim 11 系统，也可以用鼠标左键单击主窗口右上角的关闭按钮。关闭前如果你没有将编辑文件存盘，系统将弹出一个对话框，提示你保存电路文件，如图 1-17 所示。根据需要单击对话框中的 Yes 或 No 按钮，即可将 Multisim 文件关闭。

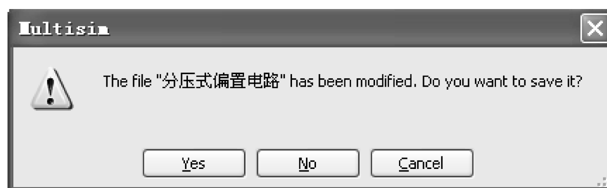


图 1-17　关闭 Multisim 文件时的提示

1.3.2　Edit（编辑）

Edit 命令主要用于在电路设计编辑过程中，对电路、元器件及仪器进行各种处理操作。

单击主菜单栏的编辑命令，将弹出如图 1-18 所示的下拉菜单。

下拉菜单中的命令及功能如下：

（1） Undo：撤消最近一次操作。

（2） Redo：恢复最近一次操作。

（3） Cut：剪切所选内容。

（4） Copy：复制所选内容。

（5） Paste：剪贴板中的内容粘贴。

（6） Paste Special：剪贴板中的内容按指定要求粘贴，执行下拉菜单操作。

（7） Delete：删除选中的元器件、仪器或文本，使用删除命令要小心，删除的信息不可能被恢复。

（8） Select All：选中当前窗口的所有项目。

（9） Delete Multi－Page：删除多页电路中的某一页内容。

（10） Merge Selected Buses：将选取的总线合并。

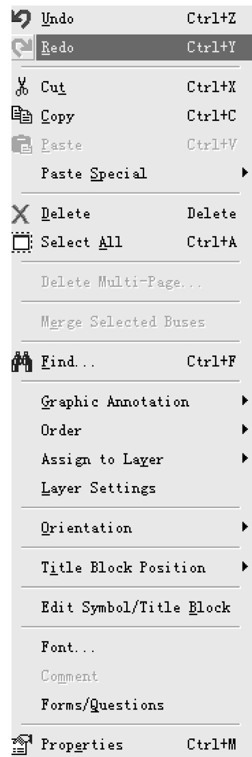


图 1-18　编辑命令的下拉菜单

（11） Find…：查找元器件。执行该命令，弹出如图 1-19 所示查找元器件对话框。

在对话框中，查找内容填写所要查找的元器件名称；搜索目标用于设置查找对象的类型；搜索选项用于设置查找范围：有当前图纸、当前设计、所有打开的图纸和所有打开的设计，可选择其中之一；其余两项用于设置查找时字符匹配方式。

按照图 1-19 所设置的选项进行查找，可以在电子表格栏中得到结果，如图 1-20 所示。

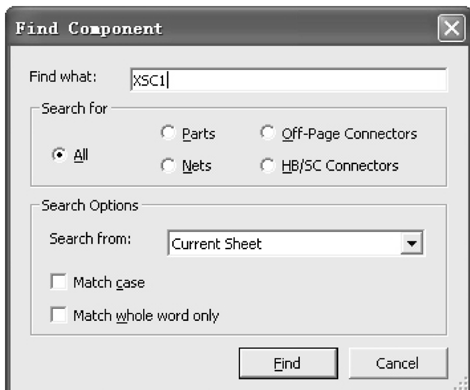


图 1-19　查找元器件对话框



图 1-20　查找结果在电子表格栏中显示

（12） Graphic Annotation：图形注释选项。

（13） Order：改变电路图中所选元器件和注释的叠放次序。

（14） Assign to Layer：指定所选层为注释层。

（15） Layer Settings：层设置。执行该命令，弹出图 1-21 所示层设置对话框。

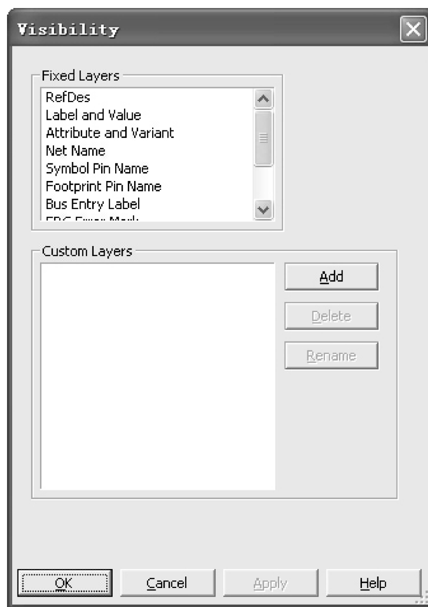


图 1-21　层设置对话框

（16） Orientation：对选中的元器件进行方向调整，包括垂直翻转、水平翻转、顺时针旋转 90°、逆时针旋转 90°等。

（17） Title Block Position：设置电路图标题栏的位置。

（18） Edit Symbol/ Title Block：编辑电路元器件符号或标题栏。在电路工作区选是某个元器件，假设选中电路中的晶体管 Q1，执行编辑符号/标题栏菜单命令后，出现图 1-22 所示的对话框。其上部分为器件外形窗口，下部分为器件外形编辑窗口，在此窗口可对器件的引脚长短、引脚符号、名称方向及字体字形进行编辑。

（19） Font…：设置字体。执行该命令，弹出图 1-23 所示对话框。可以用于对电路窗口中的元器件的标识号、参数值等进行设置。

（20） Comment：编辑仿真电路的注释。

（21） Forms/Questions：编辑与电路有关的问题。执行该命令后，弹出图 1-24 所示对话框，可在对话框中对模板进行编辑设置。

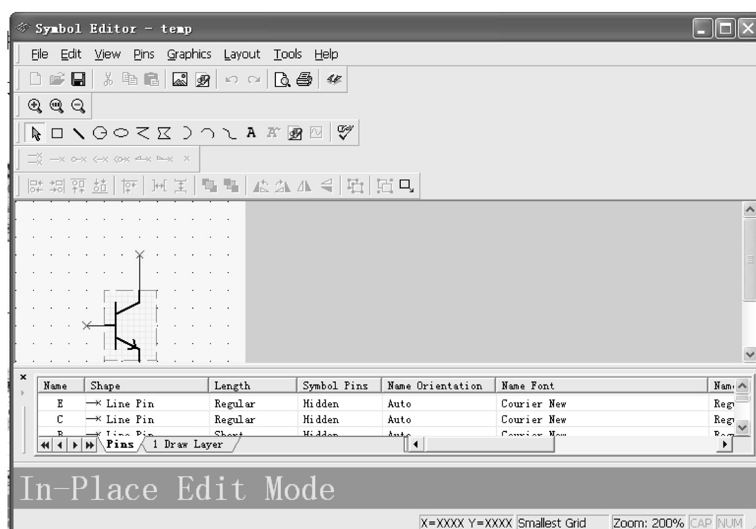


图 1-22 编辑符号/标题栏对话框

（22） Properties：打开属性对话框。

1.3.3 View（视图）

该命令用于设置确定主窗口界面上显示的内容以及电路图的缩放等。

单击 View 命令，弹出如图 1-25 所示的下拉菜单。

下拉菜单中的命令及功能如下：

（1） Full Screen：全屏显示电路窗口。

（2） Parent Sheet：显示子电路或者分层电路的父节点。

（3） Zoom In：将电路窗口中的内容放大。

（4） Zoom Out：将电路窗口中的内容缩小。

（5） Zoom Area：放大所选区域。

（6） Zoom Fit to Page：显示完整电路图。

（7） Zoom to Magnification：按所设倍数放大。



图 1-23 字体设置对话框

（8） Zoom Selection：以所选电路部分为中心进行放大。

（9） Show Grid：显示栅格。

（10） Show Border：显示电路边界。

（11） Show Print Page Bounds：显示页边界。

（12） Ruler Bars：显示标尺条。

（13） Status Bar：显示状态栏。

（14） Design Toolbox：显示设计工具箱。

（15） Spreadsheet View：显示数据表格栏。

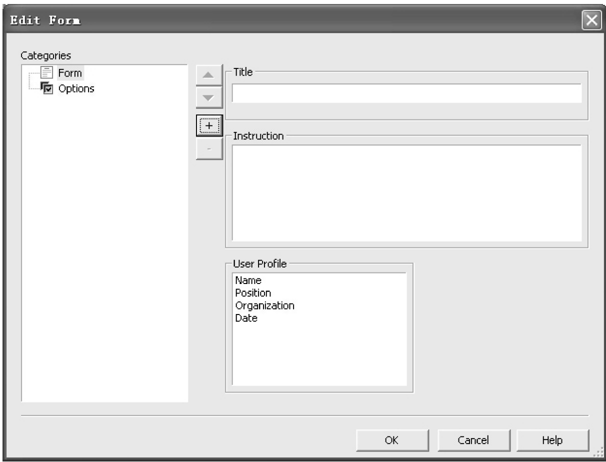


图1-24 编辑模板对话框

（16）SPICE Netlist Viewer：显示SPICE网络表观察栏。

（17）Description Box：显示或隐藏电路窗口中的描述框。

（18）Toolbars：包含多个下拉工具栏，选中某工具栏即显示，否则不显示。

（19）Show Comment/Probe：显示或隐藏电路窗口中的用于解释电路全部功能或部分功能的文本框，只有在放置了文本框后，才能激活该项。

（20）Grapher：显示或隐藏仿真结果的图表。



图1-25 视图命令的下拉菜单

1.3.4 Place（放置）

该命令用来提供在电路窗口内放置元器件、连接点、总线和文字等命令。

单击主菜单栏的Place命令，将弹出如图1-26所示的下拉菜单。

下拉菜单中的命令及功能如下：

（1）Component…：放置元器件。

（2）Junction：放置节点。

（3）Wire：放置导线。

（4）Bus：放置总线。

（5）Connectors：放置连接器。在下拉菜单中选择某种连接器，进行放置。

（6）New Hierarchical Block：建立一个新的层次电路模块。

（7）Hierarchical Block from File：从文件获取层次电路。

（8）Replace by Hierarchical Block：用层次电路模块替换所选电路。

（9）New Subcircuit：新建子电路。

（10）Replace by Subcircuit：用一个子电路替换所选电路。

（11）Multi－Page：产生多层电路。

（12）Bus Vector Connect：放置总线矢量连接。

（13）Comment：为电路工作区或某个元器件增加功能描述等文本。当鼠标停留在相应元器件上时显示该文本，方便图纸阅读。

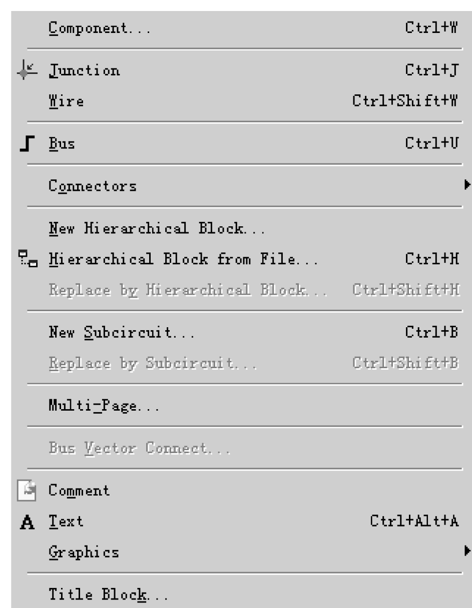


图 1-26　放置命令的下拉菜单

执行该命令后，鼠标指针会变为中心为实心黑点的十字形状，在电路工作区中某一位置单击左键后，就出现图 1-27 所示的情况，工作区的电路窗口中相应位置出现了一个白色的文本框，在其中可以输入对电路功能的某种解释。

输入完电路注释后，单击工作区的电路窗口中任一位置，则白色的文本框消失，只剩下图标，即完成了注释的添加。如果要查看注释的内容，首先单击，然后执行 View/Comment/Probe，这时注释的内容便会显示。也可以让鼠标在上稍做停留，便可以看到注释的内容。



图 1-27　输入注释文本框

（14）Text：放置文本文件。

（15）Graphics：放置圆弧、椭圆、直线、折线、不规则图形、矩形和图形等。

（16）Title Block…：放置一个标题栏。执行该命令后，出现图 1-28 所示的打开标题栏对话框。

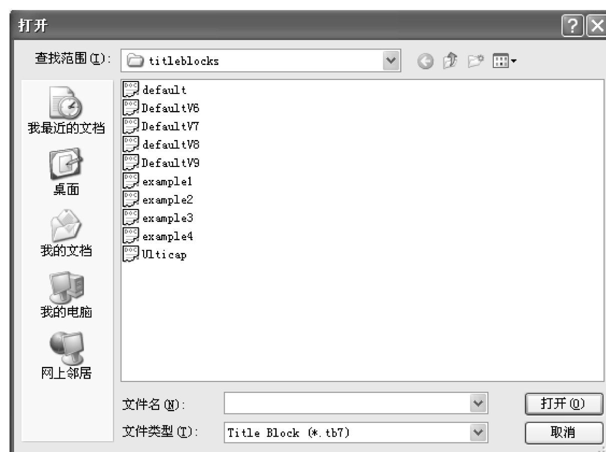


图 1-28　打开标题栏对话框

Multisim 11 提供了 10 种不同的标题栏供用户选用。一般将标题栏放置在图纸右下角位置。在其中可以填写图纸名称、编号、作者等信息。

1.3.5　MCU（微控制器）

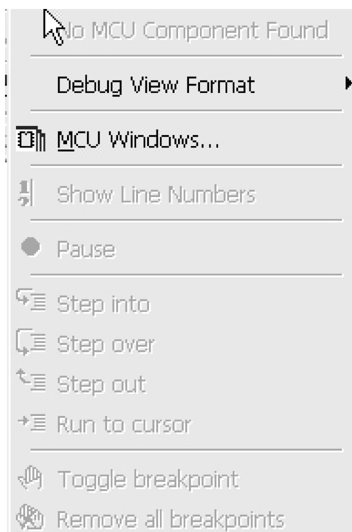


图1-29　MCU菜单

Multisim 11不仅提供含有微控制器芯片MCU模块的电路原理图编辑功能，更重要的是提供了相应的软件开发模块，目前Multisim 11能支持的微控制器芯片类型有两类：80C51和PIC。图1-29所示的MCU菜单是用于含有微控制器芯片的电路仿真操作的相关命令。

下拉菜单中的命令及功能如下：

（1）No MCU Component Found：没有创建MCU器件。

（2）Debug View Format：调试格式。

（3）MCU Windows…：显示MCU窗口。

（4）Show Line Numbers：显示线路数目。

（5）Pause：暂停。

（6）Step into：进入。

（7）Step over：跨过。

（8）Step out：离开。

（9）Run to cursor：运行到指针位置。

（10）Toggle breakpoint：设置断点。

（11）Remove all breakpoints：移走所有断点。

1.3.6　Simulate（仿真）

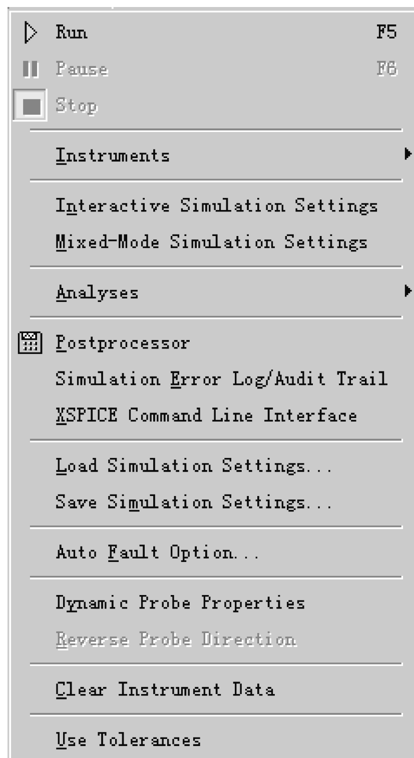


图1-30　仿真命令的下拉菜单

用来提供电路仿真设置与操作命令。执行主菜单栏的仿真命令，将弹出如图1-30所示的下拉菜单。

下拉菜单中的命令及功能如下：

（1）Run：运行仿真。

（2）Pause：暂停仿真。

（3）Stop：停止仿真。

（4）Instruments：其下拉菜单中包含各种仪器，可选择放置。

（5）Interactive Simulation Settings：执行该命令，弹出图1-31所示交互仿真设置对话框，可在其中对与瞬态分析有关的仪表及选项进行设置。

（6）Mixed-Mode Simulation Settings：在电路仿真时对数字和模拟元器件的精度和速度进行选择。

（7）Analyses：选择仿真分析项目。

（8）Postprocessor：对电路分析进行后处理器。

（9）Simulation Error Log/Audit Trail：仿真错误记录/检查跟踪。

（10）XSPICE Command Line Interface：执行该命令，可以显示XSpice命令行，如图1-32所示。

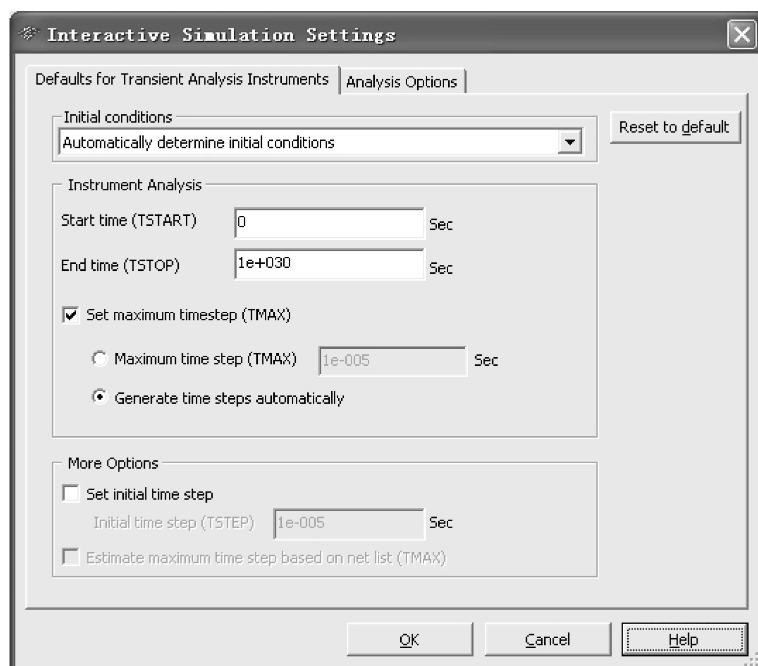


图 1-31　交互仿真设置对话框

（11） Load Simulation Settings…：装载用户以前保存的仿真设置。

（12） Save Simulation Settings…：保存以后用到的仿真设置。

（13） Auto Fault Option…：自动设置电路故障选项。

（14） Dynamic Probe Properties：探针属性设置。探针的作用是快速地检查电路中不同节点或引脚的电压值或频率值。

（15） Reverse Probe Direction：探针极性反向。

（16） Clear Instrument Data：仪器测量结果清零。

（17） Use Tolerances：允许误差设置。

1.3.7 Transfer（文件输出）

该命令用来提供将仿真结果传递给其他软件处理的命令。

单击主菜单栏的 Transfer 命令，将弹出如图 1-33 所示的下拉菜单。

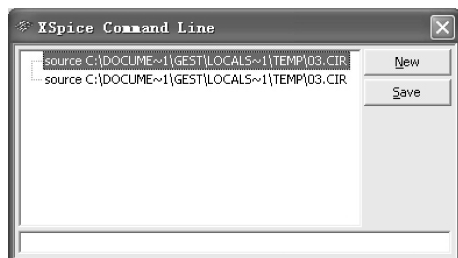


图 1-32　XSpice 命令行显示

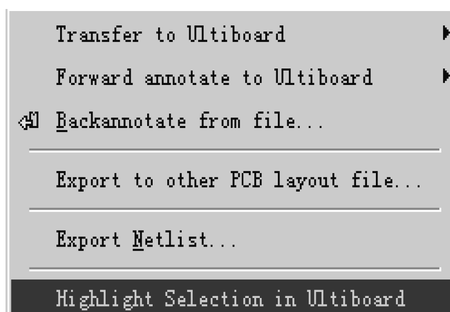


图 1-33　Transfer 命令的下拉菜单

（1）Transfer to Ultiboard：传送到 Ultiboard，设计制作印制电路板。
（2）Forward annotate to Ultiboard：将 Multisim 11 中的注释改变传送到 Ultiboard。
（3）Backannotate from file…：将 Ultiboard 11 中的注释改变传送到 Multisim 11。
（4）Export to other PCB Layout file…：导出到其他 PCB 制图软件。
（5）Export Netlist…：将电路图文件导出为网络表文件。
（6）Highlight Selection in Ultiboard：对 Ultiboard 电路中所选元器件以高亮显示。

1.3.8　Tools（工具）

该命令主要用于编辑或管理元器件和电路，其下拉菜单如图 1-34 所示。



图 1-34　Tools 命令的下拉菜单

Tools 菜单中的命令及功能如下：
（1）Component Wizard：创建元器件向导。
（2）Database：对元器件库进行管理、保存、转换和合并。
（3）Variant Manager：变更管理。
（4）Set Active Variant…：设置动态变更。
（5）Circuit Wizards：电路设计向导。
（6）SPICE Netlist Viewer：选择 SPICE 网络表的操作。
（7）Rename/Renumber Components：为元器件重命名、编号。
（8）Replace Components：元器件替换。
（9）Update Circuit Components：更新电路元器件。
（10）Update HB/SC Symbols：更新层次电路和子电路模块。
（11）Electrical Rules Check…：电气规则检查。
（12）Clear ERC Markers…：清除电气规则检查标记。
（13）Toggle NC Marker：对电路未连接点标识或者删除标识。
（14）Symbol Editor：符号编辑器。
（15）Title Block Editor：标题栏编辑器。
（16）Description Box Editor：电路描述编辑器。
（17）Capture Screen Area：电路图截图。
（18）Online Design Resources：在线设计资源。

1.3.9　Reports（报告）

此菜单用于产生指定元器件存储在数据库中的所有信息和当前电路窗口中所有元器件的详细参数报告，其下拉菜单如图 1-35 所示。

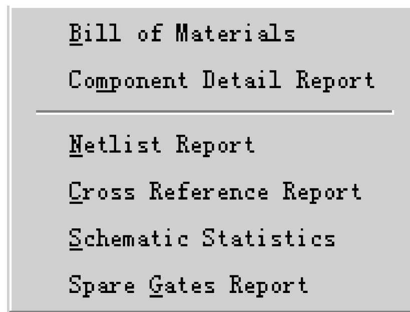


图 1-35　Reports 命令的下拉菜单

Reports 下拉菜单中的命令及功能如下：
（1）Bill of Materials：产生当前电路图文件的元器件清单。

（2） Component Detail Report：产生特定元器件在数据库中的详细信息报告。
（3） Netlist Report：产生元器件连接信息的网络表文件报告。
（4） Cross Reference Report：产生当前电路窗口中所有元器件的详细参数报告。
（5） Schematic Statistics 产生电路图的统计信息报告。
（6） Spare Gates Report：产生电路中未使用门的报告。

1.3.10 Options（选项）

该命令用于定制用户的界面和电路某些参数的设定，其下拉菜单如图 1-36 所示。

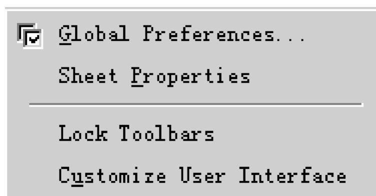


图 1-36 Options 命令的下拉菜单

Options 菜单中的命令及功能如下：
（1） Global Preferences…：全局参数设置。
（2） Sheet Properties：电路图或子电路图属性参数设置。
（3） Lock Toolbars：锁定工具栏。
（4） Customize User Interface：定制用户界面。

1.3.11 Window（窗口）

单击主菜单栏的 Window 命令，将弹出如图 1-37 所示的下拉菜单。
（1） New Window：新建一个窗口。
（2） Close：关闭当前窗口。
（3） Close All：关闭所有窗口。
（4） Cascade：使打开的多个电路窗口层叠排列。
（5） Tile Horizontal：使打开的多个电路窗口水平方向排列。
（6） Tile Vertical：使打开的多个电路窗口垂直水平方向排列。
（7） Next Window：切换到下一窗口。
（8） Previous Window：切换到上一窗口。
（9） Windows…：显示所有窗口列表，并选择激活窗口。

1.3.12 Help（帮助）

当进行电路操作时，需要查看帮助信息时，可以利用帮助菜单窗口，显示帮助有关信息。其下拉菜单如图 1-38 所示。

Help 菜单中的命令及功能如下：
（1） Multisim Help：帮助主题目录。
（2） Component Reference：元器件索引。
（3） NI ELVISmx 4.0 Help：关于 NI ELVISmx 4.0 的帮助。
（4） Find Examples…：查找例子。
（5） Patents…：专利信息。
（6） Release Notes：版本注释。
（7） File Information：当前电路图的文件信息。
（8） About Multisim：有关 Multisim 的说明。



图 1-37　Window 命令下拉菜单

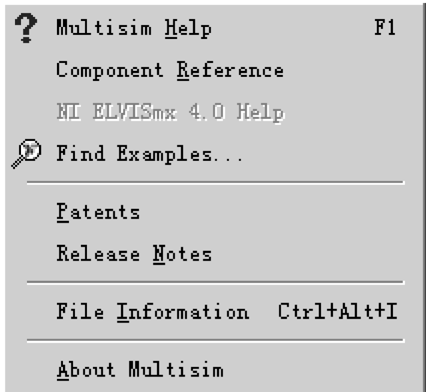


图 1-38　Help 命令的下拉菜单

思 考 题

1-1　Multisim 11 具有哪些基本功能?

1-2　Multisim 11 提供了哪些与其他软件信息交换的接口?

1-3　Multisim 11 安装和运行要求计算机硬件软件满足什么配置要求?

1-4　Multisim 11 的主窗口界面包括哪几个组成部分?

1-5　Multisim 11 的菜单栏中主菜单有哪些?

1-6　Multisim 11 设置了多少工具栏? 简要说明各工具栏中按钮的作用?

1-7　Multisim 11 的元器件库工具栏中有多少个元器件库?

1-8　Multisim 11 的仪器库工具栏有多少种仪器? 说出其名称。

第 2 章　元器件库与元器件库管理

Multisim 11 元器件存放在三种不同的数据库中，执行 Tools \ Database \ Database Manager 命令，可弹出如图 2-1 所示的元器件数据库管理对话框。

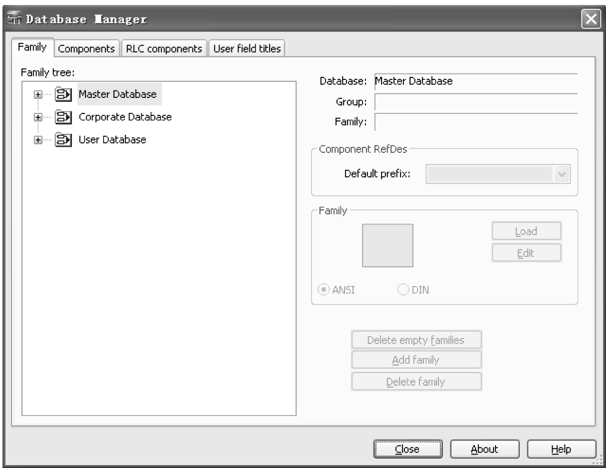


图 2-1　元器件数据库管理对话框

元器件数据库管理对话框中主要包括 Master Database、Corporate Database 和 User Database 三种数据库，它们的功能分别如下：

（1） Master Database：存放 Multisim 11 提供的元器件。

（2） Corporate Database：存放被企业或个人修改、创建和导入的元器件，是共用元器件库，也能被其他用户使用。

（3） User Database：存放个人修改、创建和导入的元器件，仅供个人使用。

2.1　Multisim 11 的元器件库

Master Database 中含有 19 个元器件库（即 Component Toolbar），每个元器件库中又含有数量不等的元器件系列（称之为 Family），各种元器件分门别类地放在这些元器件系列中供用户调用。Corporate Database 和 User Database 在开始使用时是空的，只有在用户创建或修改了元器件并存放于数据库后才能有元器件供调用。

下面分别对 Master Database 中的 19 个元器件库加以介绍。

2.1.1　Sources（电源器件库）

单击元器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-2 所示的电源器件库对话框。

Database 下拉列表：选择器件所属的数据库，包括 Master Database、Corporate Database

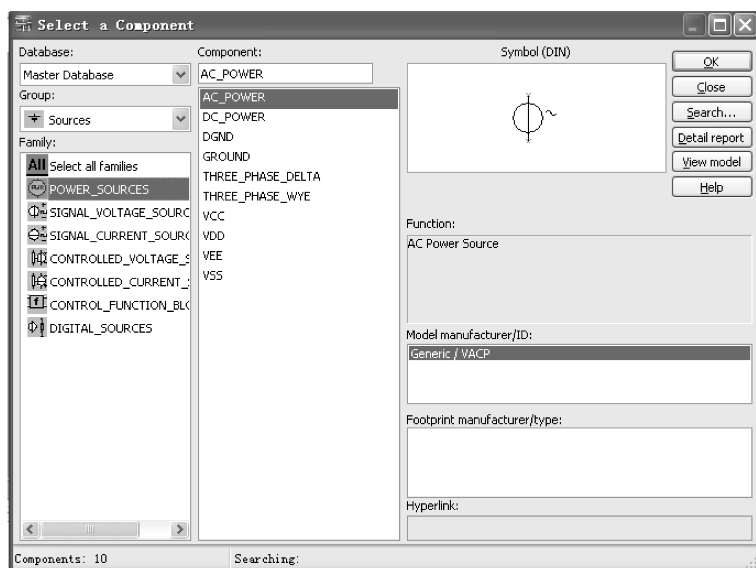


图 2-2　电源器件库对话框

和 User Database。

Group 下拉列表：选择器件库的分类，在其下拉表中包括 19 种器件库。

Family 栏：选择在每种库中包含的不同器件系列。图 2-2 所示的电源库中包括 7 个系列。分别为 POWER _ SOURCES（电源）、SIGNAL _ VOLTAGE _ SOURCES（电压信号源）、SIGNAL _ CURRENT _ SOURCES（电流信号源）、CONTROLLED _ VOLTAGE _ SOURCES（控制电压源）、CONTROLLED _ CURRENT _ SOURCES（控制电流源）、CONTROL _ FUNCTION _ BLOCKS（控制功能模块）、DIGITAL _ SOURCES（数字信号源）等。每一系列又包含多个电源和信号源。

Component 栏：显示 Family 栏中器件系列所包含的所有器件。

Symbol（DIN）栏：显示所选器件的符号，此处采用的是 DIN 标准。

Function 栏：显示所选器件的功能描述，包括器件模型和封装等。

对话框中的按钮：单击“OK”按钮将选择器件放到工作区，单击“Close”按钮关闭当前对话框，单击“Search…”按钮查找器件，单击“Detail report”按钮列出器件详细报告信息，单击“View model”按钮显示器件模型信息，单击“Help”按钮提供帮助信息。

注意：由于电源库的特殊性，Multisim 11 把电源库中的所有器件当作虚拟器件，因而不能使用 Multisim 11 中的器件编辑工具对模型及符号等进行修改或重新创建，只能通过自身的属性对话框对其相关参数进行设置。

2.1.2　Basic（基本元器件库）

单击元器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-3 所示的基本元器件库对话框。

基本元器件库中包含 17 个系列（Family），分别是 BASIC _ VIRTUAL（基本虚拟器件）、RATED _ VIRTUAL（额定虚拟器件）、RPACK（排阻）、SWITCH（开关）、TRANSFORMER

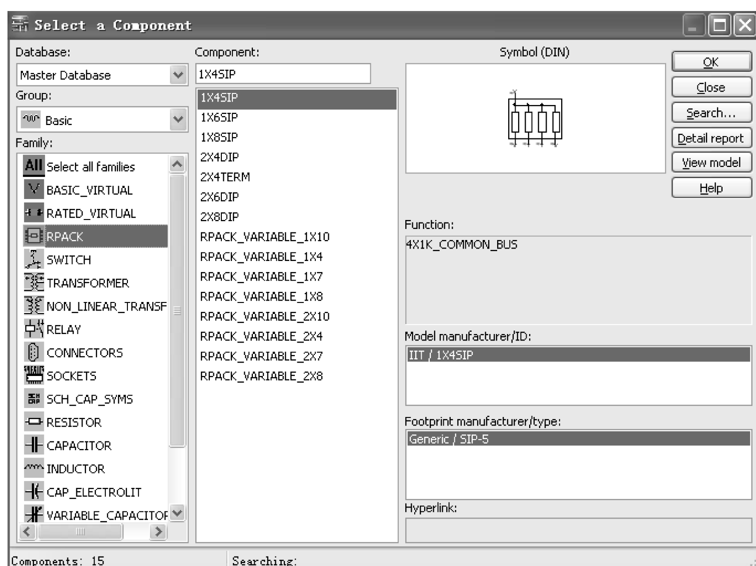


图 2-3 基本元器件库对话框

（变压器）、NON _ LINEAR _ TRANSFORMER（非线性变压器）、RELAY（继电器）、CONNECTORS（连接器）、SOCKETS（插座）、SCH _ CAP _ SYMS（可编辑电路符号）、RESISTOR（电阻）、CAPACITOR（电容）、INDUCTOR（电感）、CAP _ ELECTROLIT（电解电容）、VARLABLE _ CAPACITOR（可变电容）、VARLABLE _ INDUCTOR（可变电感）和 POTENTLONMETER（电位器）等，每一系列又含有各种具体型号的元器件。

2.1.3 Diodes（二极管器件库）

单击元器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-4 所示的二极管器件库对话框。

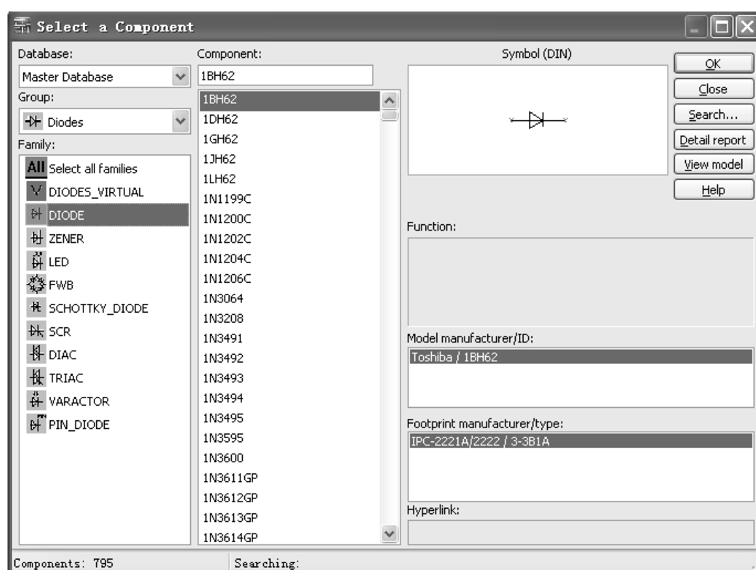


图 2-4 二极管器件库对话框

二极管器件库包含 11 个系列（Family），分别是 DIODES _ VIRTUAL（虚拟二极管）、DIODE（二极管）、ZENER（齐纳二极管）、LED（发光二极管）、FWB（全波桥式整流器）、SCHOTTKY _ DIODE（肖特基二极管）、SCR（晶闸管整流器）、DIAC（双向二极管）、TRIAC（双向晶闸管）、VARACTOR（变容二极管）和 PIN _ DIODE（PIN 二极管）。

2.1.4　Transistors（晶体管器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-5 所示的晶体管器件库对话框。

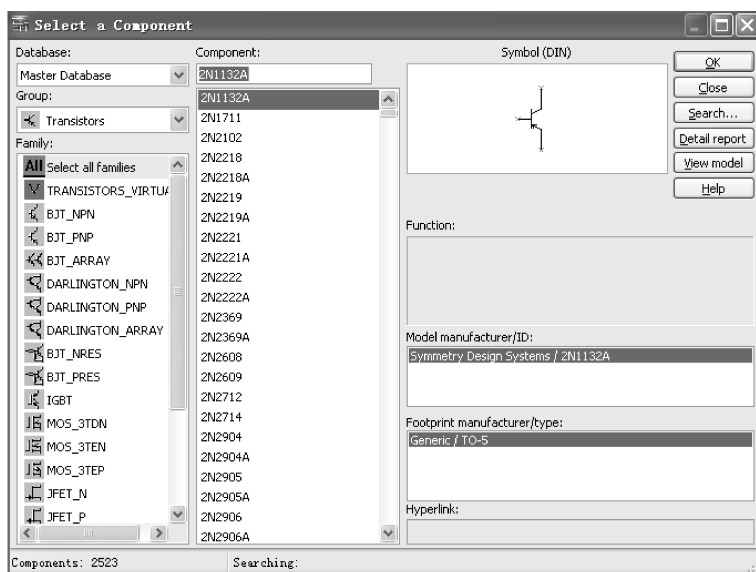


图 2-5　晶体管器件库对话框

晶体管器件库中共有 20 个系列（Family），分别是 TRANSISTORS _ VIRTUAL（虚拟晶体管）、BJT _ NPN（NPN 晶体管）、BJT _ PNP（PNP 晶体管）、BJT _ ARRAY（晶体管阵列）、DARLINGTON _ NPN（达林顿 NPN 晶体管）、DARLINGTON _ PNP（达林顿 PNP 晶体管）、DARLINGTON _ ARRAY（达林顿晶体管阵列）、BJT _ NRES（带偏置 NPN 晶体管）、BJT _ PRES（带偏置 PNP 晶体管）、IGBT（绝缘栅双极型晶体管）、MOS _ 3TDN（三端 N 沟道耗尽型 MOS 管）、MOS _ 3TEN（三端 N 沟道增强型 MOS 管）、MOS _ 3TEP（三端 P 沟道增强型 MOS 管）、JFET _ N（N 沟道 JFET）、JFET _ P（P 沟道 JFET）、Power MOS _ N（N 沟道功率 MOSFET）、Power MOS _ P（P 沟道功率 MOSFET）、Power MOS _ COMP（COMP 功率 MOSFET）、UJT（单结晶体管）和 THERMAL _ MODELS（热效应管）等系列，每一系列又含有具体型号的多个晶体管。

2.1.5　Analog（模拟集成器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-6 所示的模拟集成器件库（Analog）对话框。

模拟集成器件库（Analog）共有 6 个系列（Family），分别是 ANALOG _ VIRTUAL（虚拟模拟集成电路）、OPAMP（运算放大器）、OPAMP _ NORTON（诺顿运算放大器）、COM-

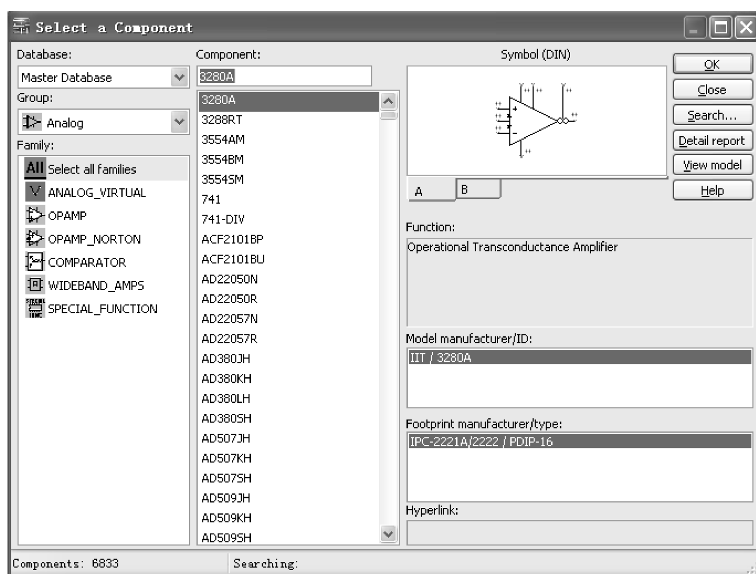


图 2-6　模拟集成器件库对话框

PARATOR（比较器）、WIDEBAND _ AMPS（宽带运算放大器）和 SPECIAL _ FUNCTION（特殊功能运算放大器）等系列，其中特殊功能的运放有：测试运放、视频运放、乘法器/除法器、前置放大器、有源滤波器等。

2.1.6　TTL（TTL 器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-7 所示的 TTL 器件库对话框。

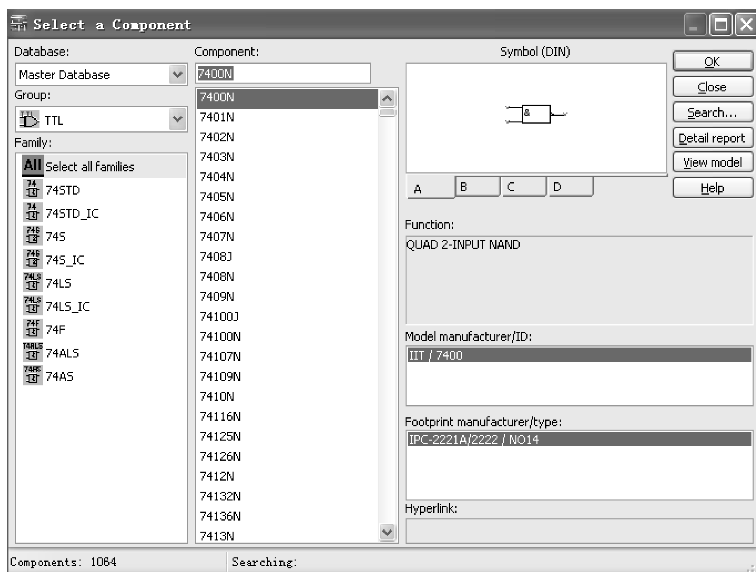


图 2-7　TTL 器件库对话框

TTL 器件库包含 9 个系列（Family），分别是 74STD、74STD _ IC、74S、74S _ IC、74LS、74LS _ IC、74F、74ALS 和 74AS。每个系列都含有大量 TTL 数字集成电路。74 系列

是普通型集成电路，又称标准型 74STD，包括 7400N ~ 7493N。74S 系列为肖特基型 TTL 集成电路，74LS 系列为低功耗肖特基 TTL 集成电路，包括 74LS00N ~ 74LS93N。74F 系列为高速型 TTL 集成电路，74ALS 系列为先进低功耗肖特基型 TTL 集成电路，74AS 系列为先进肖特基型 TTL 集成电路。

2.1.7　CMOS（CMOS 器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-8 所示的 CMOS 器件库对话框。

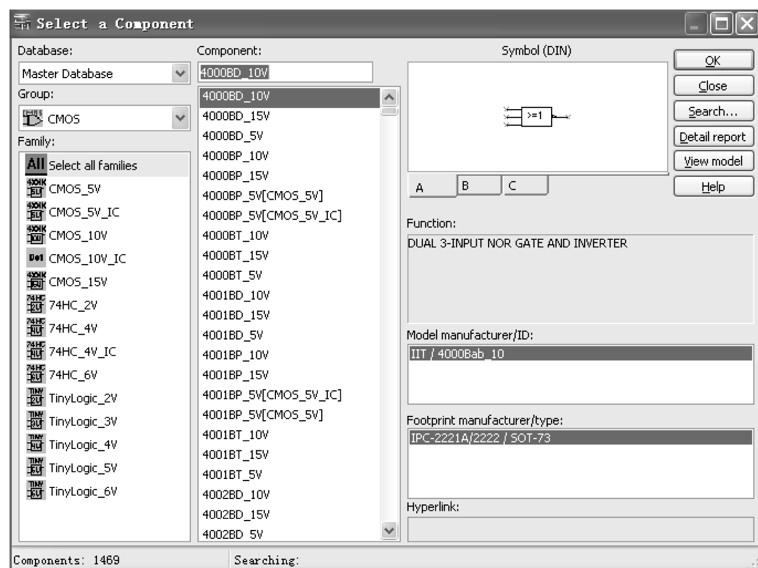


图 2-8　CMOS 器件库对话框

CMOS 器件库共有 14 个系列（Family），可分为 4 × × ×类、74HC 类和 TinyLogic 类的 CMOS 数字集成器件。

4 × × ×类包含 CMOS _5V、CMOS _5V _IC、CMOS _10V、CMOS _10V _IC 和 CMOS _15V 等系列数字集成器件；74HC 类包含 74HC _2V、74HC _4V 、74HC _4V _IC 和 74HC _6V 等系列数字集成器件；TinyLogic 类包含 TinyLogic _2V、TinyLogic _3V、TinyLogic _4V、TinyLogic _5V 和 TinyLogic _6V 等数字集成器件。

在 74HC 系列中，对于相同序号的数字集成电路，与 TTL 系列的引脚完全兼容，故序号相同的集成电路可以互换，并且 TTL 系列中的大多数集成电路都能在该系列中找到相应的序号。

使用说明：在对含有 CMOS 数字器件的电路进行仿真时，必须在电路窗口内放置一个 V_{DD} 电源符号，其数值大小根据 CMOS 要求来确定。同时还要放置一个数字接地符号。

2.1.8　Misc Digital（其他数字器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-9 所示的其他数字器件库（Misc Digital）对话框。

TTL 器件库和 CMOS 器件库中的器件都是按照型号存放的，这给数字电路初学者带来了不便，如按照其功能存放，调用起来将会方便得多。

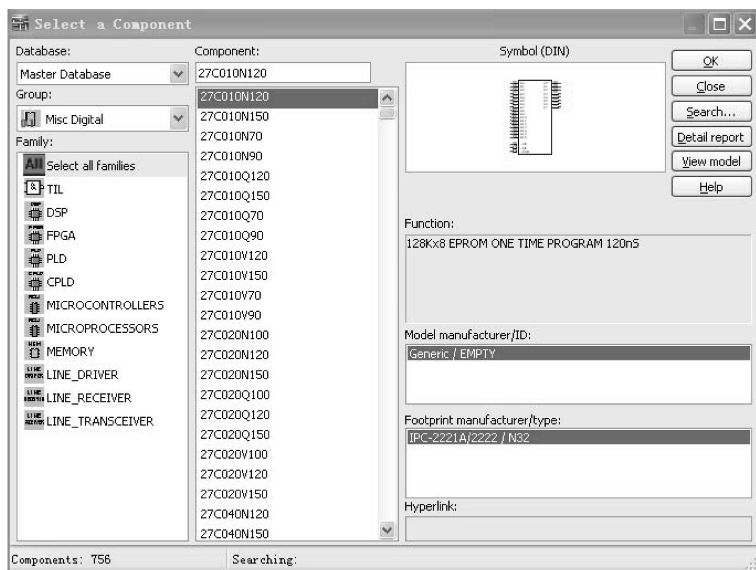


图 2-9　其他数字器件库对话框

其他数字器件库是按数字器件功能存放的，共分为 12 个系列（Family），分别为 TIL（数字逻辑器件）、DSP（数字信号处理器件）、FPGA（现场可编程门阵列器件）、PLD（可编程逻辑器件）、CPLD（复杂可编程逻辑器件）、MICROCONTROLLERS（微控制器）、MICROPROCESSORS（微处理器）、MEMORY（存储器）、LINE _ DRIVER（线性驱动器件）、LINE _ RECEIVER（线性接收器件）和 LINE _ TRANSCEIVER（线性收发器件）等 11 个系列。

2.1.9　Mixed（混合器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-10 所示的混合芯片器件库（Mixed）对话框。

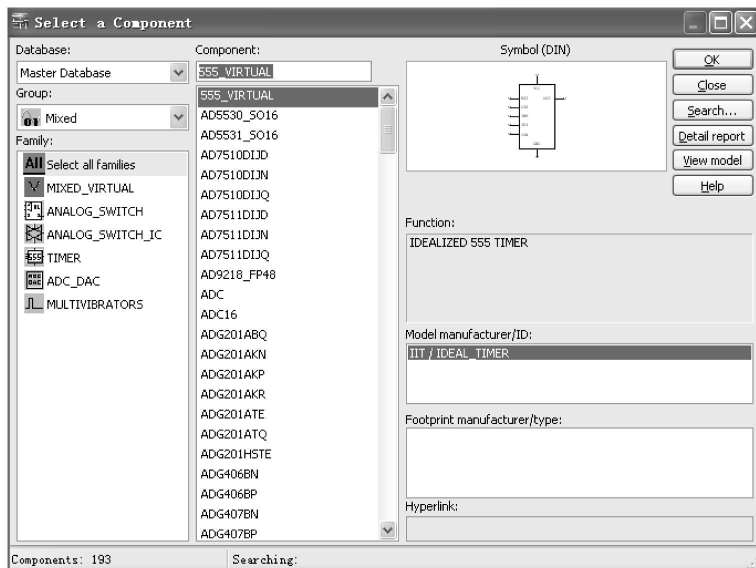


图 2-10　混合芯片器件库对话框

混合芯片器件库中存放着 6 个系列（Family），分别为 MIXED _ VIRTUAL（虚拟混合器件）、ANALOG _ SWITCH（模拟开关）、ANALOG _ SWITCH _ IC（模拟开关集成芯片）、TIMER（定时器）、ADC _ DAC（模－数/数－模转换器）和 MULTIVIBRATORS（多谐振荡器）。

2.1.10　Indicators（指示器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-11 所示的指示器件库对话框。

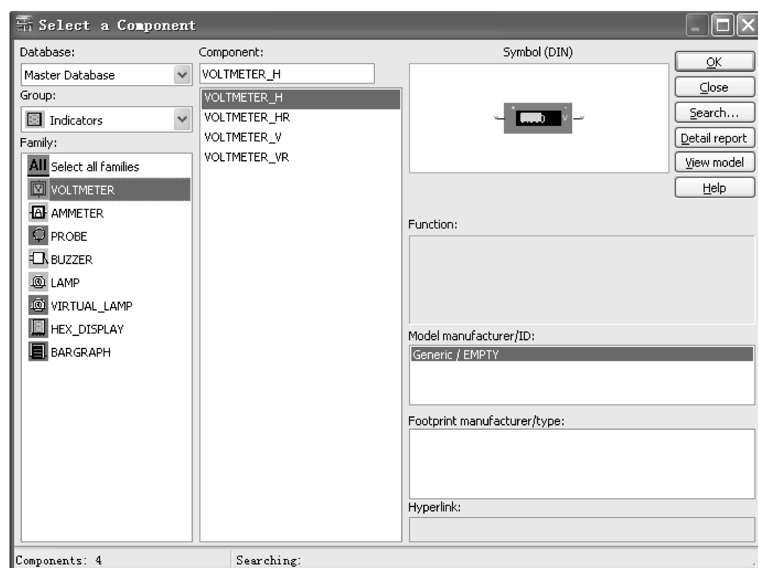


图 2-11　指示器件库对话框

指示器件库共有 8 个系列（Family），分别为 VOLTMETER（电压表）、AMMETER（电流表）、PROBE（逻辑指示灯）、BUZZER（蜂鸣器）、LAMP（灯泡）、VIRTUAL _ LAMP（虚拟灯泡）、HEX _ DISPLAY（十六进制显示器）和 BARGRAPH（条形光柱）。

2.1.11　Power（电源器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-12 所示的电源器件库对话框。

电源器件库共有 9 个系列（Family），分别为 BASSO _ SMPS _ AUXILIARY（辅助开关电源）、BASSO _ SMPS _ CORE（开关电源芯片）、FUSE（熔断器）、VOLTAGE _ REFERENCE（电压调节器）、VOLTAGE _ REGULATOR（稳压器）、VOLTAGE _ SUPPRESSOR（限压器）、POWER _ SUPPLY _ CONTROLLER（电源控制器）、MISCPOWER（其他电源）和 PWM _ CONTROLLER（脉宽调制控制器），各系列又含有若干具体型号的器件。

2.1.12　Misc（杂项器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-13 所示的杂项器件库对话框。

Multisim 11 把不能划分为某一具体类型的器件另归一类，称为杂项器件库。杂项器件库共有 14 个系列（Family），分别为 MISC _ VIRTUAL（虚拟杂项器件）、OPTOCOUPLER（光耦合器）、CRYSTAL（石英晶体）、VACUUM _ TUBE（真空管）、BUCK _ CONVERTER（开

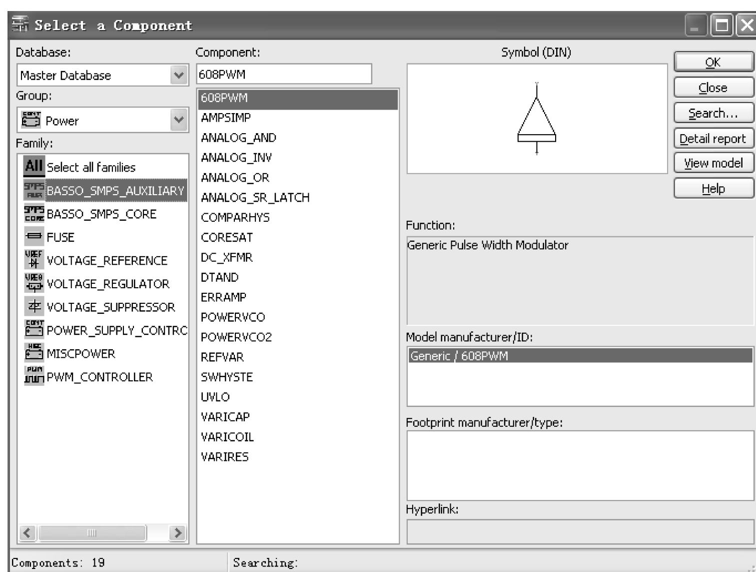


图 2-12 电源器件库对话框

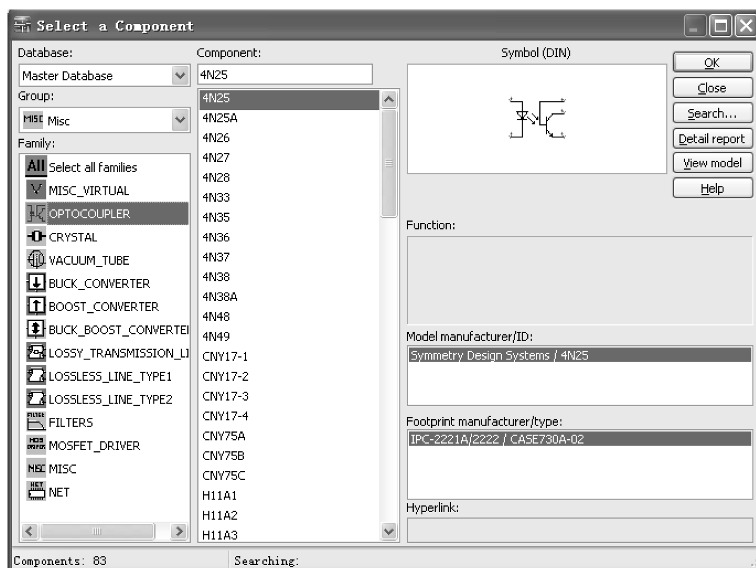


图 2-13 杂项器件库对话框

关电源降压转换器)、BOOST _ CONVERTER (开关电源升压转换器)、BUCK _ BOOST _ CONVERTER (开关电源降压升压转换器)、LOSSY _ TRANSMISSION _ LINE (有损传输线)、LOSSLESS _ LINE _ TYPE1 (无损传输线 1)、LOSSLESS _ LINE _ TYPE2 (无损传输线 2)、FILTERS (滤波器)、MOSFET _ DRIVER (MOSFET 驱动器)、MISC (其他杂项器件) 和 NET (网络器件)。每个系列又含有若干具体型号的器件。

2.1.13 Advanced Peripherals (高级外围设备器件库)

单击器件工具栏中的图标按钮,弹出如图 2-14 所示的高级外围设备器件库对话框。

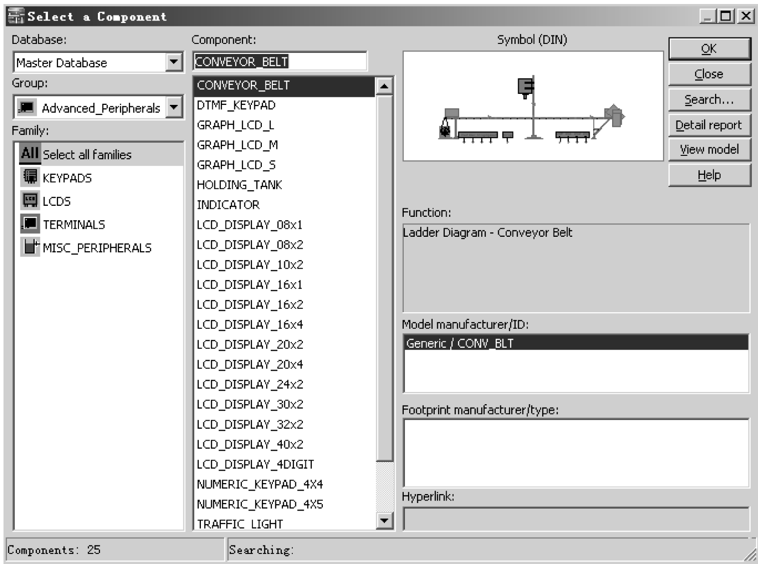


图 2-14　高级外围设备器件库对话框

高级外围设备器件库共有 4 个系列（Family），分别为 KEYPADS（微型键盘）、LCDS（液晶显示屏）、TERMINALS（终端设备）和 MISC _ PERIPHERALS（其他外设）。这些外设可以在电路设计中作为输入和输出设备，属于交互式器件，因此不能编辑和修改，只能设置参数。

2.1.14　RF（射频器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-15 所示的射频器件库对话框。

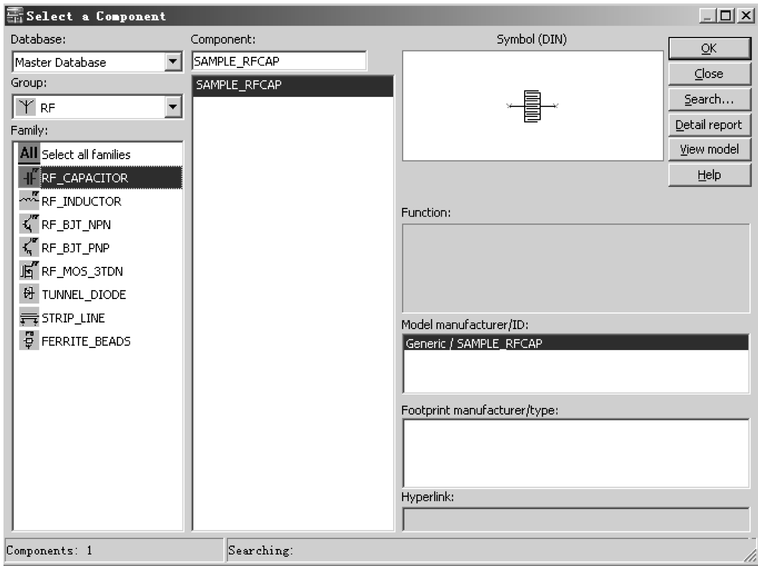


图 2-15　射频器件库对话框

射频器件库共有 8 个系列（Family），分别为 RF _ CAPACITOR（射频电容器）、RF _ INDUCTOR（射频电感器）、RF _ BJT _ NPN（射频 NPN 晶体管）、RF _ BJT _ PNP（射频 PNP 晶体管）、RF _ MOS _ 3TDN（射频 N 沟道耗尽型 MOS 管）、TUNNEL _ DIODE（隧道二极管）、STRIP _ LINE（带状传输线）和 FERRITE _ BEADS（铁氧体磁珠）。

2.1.15 Electro _ Mechanical（机电器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-16 所示的机电器件库对话框。

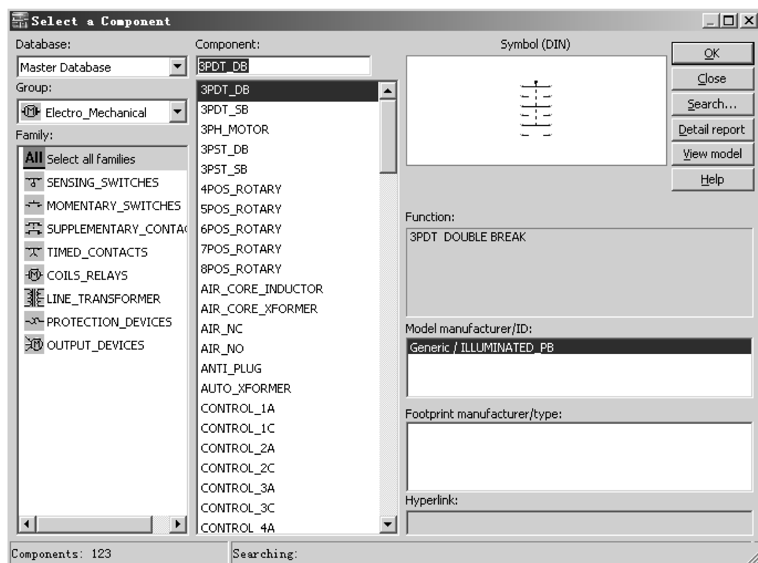


图 2-16　机电器件库对话框

机电器件库共有 8 个系列（Family），分别为 SENSING _ SWITCHES（检测开关）、MOMENTARY _ SWITCHES（瞬时开关）、SUPPLEMENTARY _ CONTACTS（附加触点开关）、TIMED _ CONTACTS（同步触点开关）、COILS _ RELAYS（线圈和继电器）、LINE _ TRANSFORMER（线性变压器）、PROTECTION _ DEVICES（保护装置）和 OUTPUT _ DEVICES（输出装置）。

2.1.16 NI _ Components（NI 器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-17 所示的 NI 器件库对话框。

NI 器件库包含有 4 个系列（Family），分别为 GENERIC _ CONNECTORS（通用连接器）、M _ SERIES _ DAQ（中规模系列数据采集）、sbRIO（sbRIO 系列）和 cRIO（cRIO 系列）。

2.1.17 MCU Module（微控制器器件库）

单击器件工具栏中的图标按钮，弹出如图 2-18 所示的微控制器器件库对话框。

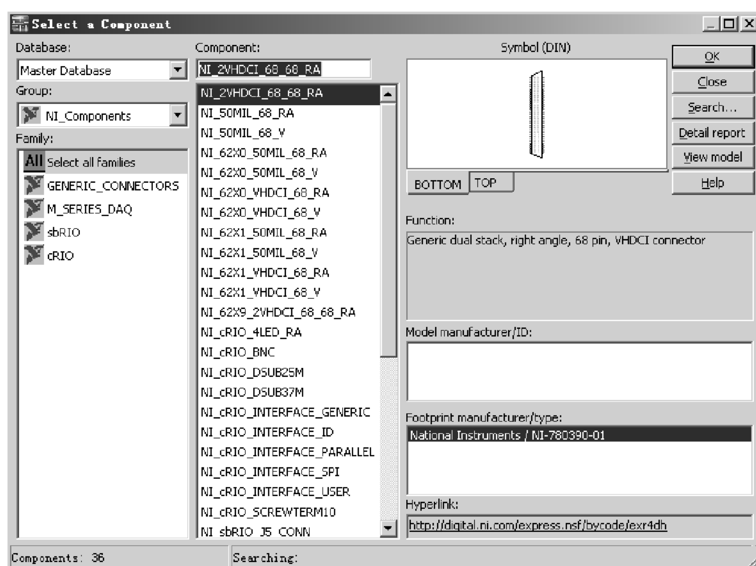


图 2-17　NI 器件库对话框

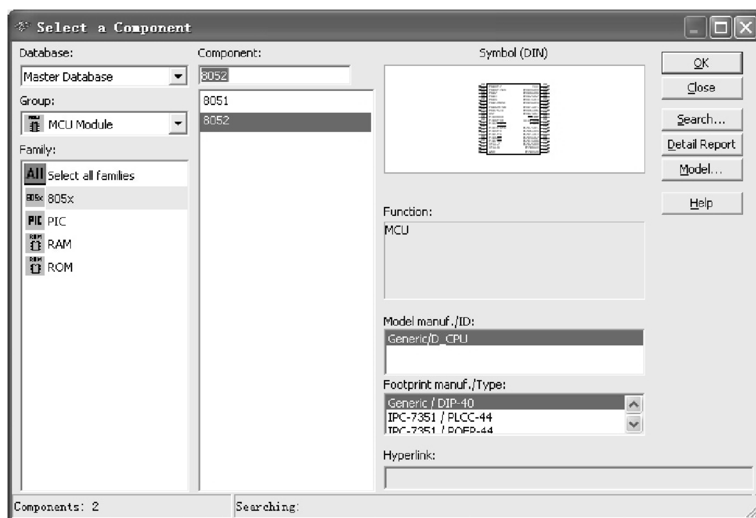


图 2-18　微控制器器件库对话框

微控制器器件库主要包括单片机和存储器两大类 4 个系列（Family），分别为 805x（8051、8052 系列单片机）、PIC（PIC 系列单片机）、RAM（随机存储器）和 ROM（只读存储器）。

另外，还有最后的两个器件库，但从严格意义上说，并不能称之为器件库，这是因为这是两个工具按钮，一个是放置分层模块命令，另一个是放置总线命令。

2.2　Multisim 11 的虚拟元器件

为方便用户操作，Multisim 11 设置了虚拟元器件工具栏。执行菜单命令 View/Toolbars/

Virtual，即可弹出 Virtual（虚拟元器件）工具栏，如图 2-19 所示。



图 2-19 Virtual（虚拟元器件）工具栏

Virtual（虚拟元器件）工具栏共有 9 个按钮，单击每个按钮都可以打开相应的工具栏，利用该工具栏可放置各种虚拟元器件。虚拟元器件都没有封装特性。

下面我们按图 2-19 所示 Virtual（虚拟元器件）工具栏中按钮顺序依次介绍。

2.2.1 虚拟模拟元器件



图 2-20 虚拟模拟元器件工具栏

：“虚拟模拟元器件”按钮。单击该按钮，弹出虚拟模拟元器件工具栏，如图 2-20 所示。

虚拟模拟元器件工具栏中含有 3 个虚拟元器件，分别为：

：限流器。

：三端理想运算放大器。

：五端理想运算放大器。

2.2.2 虚拟基本元器件



图 2-21 虚拟基本元器件工具栏

：“虚拟基本元器件”按钮。单击该按钮，弹出虚拟基本元器件工具栏，如图 2-21 所示。

虚拟基本元器件工具栏中含有 18 个虚拟元器件，分别为：

：电容器。

：无心线圈。

：电感线圈。

：磁心线圈。

：非线性变压器。

：电位器。

：常开继电器。

：常闭继电器。

：条件继电器。

：电阻器。

：音频变压器。

：其他变压器。

：电力变压器。

：变压器。

：可变电容器。

：可变电感器。

：上拉电阻器。

：压控电阻器。

2.2.3　虚拟二极管器件

：“虚拟二极管器件”按钮。单击该按钮，弹出虚拟二极管器件工具栏，如图 2-22 所示。

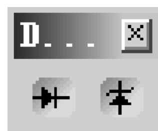


图 2-22　虚拟二极管器件工具栏

虚拟二极管器件工具栏中含有 2 个虚拟器件，分别为：

：虚拟二极管。

：齐纳二极管。

2.2.4　虚拟晶体管器件

：“虚拟晶体管器件”按钮。单击该按钮，弹出虚拟晶体管器件工具栏，如图 2-23 所示。



图 2-23　虚拟晶体管器件工具栏

虚拟晶体管器件工具栏中含有 16 个虚拟器件，分别为：

：虚拟 4 端子双极型 NPN 晶体管。

：虚拟双极型 NPN 晶体管。

：虚拟 4 端子双极型 PNP 晶体管。

：虚拟双极型 PNP 晶体管。

：虚拟 N 沟道砷化镓场效应晶体管。

：虚拟 P 沟道砷化镓场效应晶体管。

：虚拟 N 沟道结型场效应晶体管。

：虚拟 P 沟道结型场效应晶体管。

：虚拟 4 端子 N 沟道耗尽型金属氧化物场效应晶体管。

：虚拟 4 端子 P 沟道耗尽型金属氧化物场效应晶体管。

：虚拟 4 端子 N 沟道增强型金属氧化物场效应晶体管。

：虚拟 4 端子 P 沟道增强型金属氧化物场效应晶体管。

：虚拟 5 端子 N 沟道耗尽型金属氧化物场效应晶体管。

：虚拟 5 端子 P 沟道耗尽型金属氧化物场效应晶体管。

：虚拟 5 端子 N 沟道增强型金属氧化物场效应晶体管。

：虚拟 5 端子 P 沟道增强型金属氧化物场效应晶体管。

2.2.5　虚拟测量器件

：“虚拟测量器件”按钮。单击该按钮，弹出虚拟测量器件工具栏，如图 2-24 所示。



图 2-24　虚拟测量器件工具栏

虚拟测量器件工具栏中含有 13 个虚拟器件，分别为：

：水平连接直流电流表。

：水平旋转连接直流电流表。
：垂直连接直流电流表。
：垂直旋转连接直流电流表。
：水平连接直流电压表。
：水平旋转连接直流电压表。
：垂直连接直流电压表。
：垂直旋转连接直流电压表。
：白、蓝、绿、红、黄逻辑指示灯。

2.2.6　虚拟杂项器件

：“虚拟杂项器件”按钮。单击该按钮，弹出虚拟杂项器件工具栏，如图 2-25 所示。



图 2-25　虚拟杂项器件工具栏

虚拟杂项器件工具栏中含有 12 个虚拟器件，分别为：
：虚拟 555 定时器。
：模拟开关。
：晶振。
：译码十六进制数码管。
：熔丝。
：灯泡。
：单稳态器件。
：直流电动机。
：光耦合器。
：锁相环器件。
：七段数码管（共阳极）。
：七段数码管（共阴极）。

2.2.7　虚拟电源

：“虚拟电源”按钮。单击该按钮，弹出虚拟电源工具栏，如图 2-26 所示。



图 2-26　虚拟电源工具栏

虚拟电源工具栏中含有 10 个虚拟器件，分别为：
：交流电压源。
：直流电压源。
：数字接地。
：接地。
：三相电源（三角形）。
：三相电源（星形）。
：VCC 电压源。

：VDD 电压源。

：VEE 电压源。

：VSS 电压源。

2.2.8　虚拟定值元器件

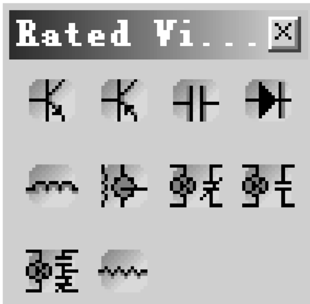


图 2-27　虚拟定值元器件工具栏

：“虚拟定值元器件”按钮。单击该按钮，弹出虚拟定值元器件工具栏，如图 2-27 所示。

虚拟定值元器件工具栏中含有 10 个虚拟元器件，分别为：

：NPN 双极型晶体管。

：PNP 双极型晶体管。

：电容器。

：二极管。

：电感线圈。

：电动机。

：继电器（触点常闭）。

：继电器（触点常开）。

：继电器。

：电阻器。

2.2.9　虚拟信号源器件



图 2-28　虚拟信号源器件工具栏

：“虚拟信号源器件”按钮。单击该按钮，弹出虚拟信号源器件工具栏，如图 2-28 所示。

虚拟信号源器件工具栏中含有 15 个虚拟器件，分别为：

：交流电流信号源。

：交流电压信号源。

：调幅电压源。

：时钟脉冲电流源。

：时钟脉冲电压源。

：直流电流信号源。

：指数电流源。

：指数电压源。

：调频电流源。

：调频电压源。

：分段线性电流源。

：分段线性电压源。

：脉冲电流源。

：脉冲电压源。

：噪声电压源。

2.3　元器件符号编辑器

Multisim 11 虽然提供有数以万计的仿真元器件，但仍不能包括所有的元器件，例如我国自主开发的元器件以及许多新问世的元器件。在这种情况下，可利用 Multisim 11 提供的元器件编辑工具，对现有的元器件模型进行编辑修改或者创建一个新元器件。

2.3.1　仿真元器件通常所具有的信息

首先让我们了解一下在 Multisim 11 中所使用的电路仿真元器件通常所具有的信息。

以二极管为例，从 Master Database 的 Diode 族中选取型号为 1BH62 的放于电路窗口。双击该元器件符号，打开 DIODE 对话框，如图 2-29 所示。

在 Value 标签页单击 Edit component in DB 按钮，打开该元器件的属性对话框，如图 2-30 所示。

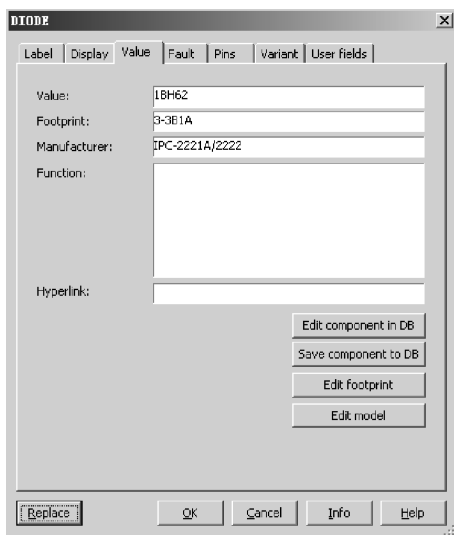


图 2-29　DIODE 对话框

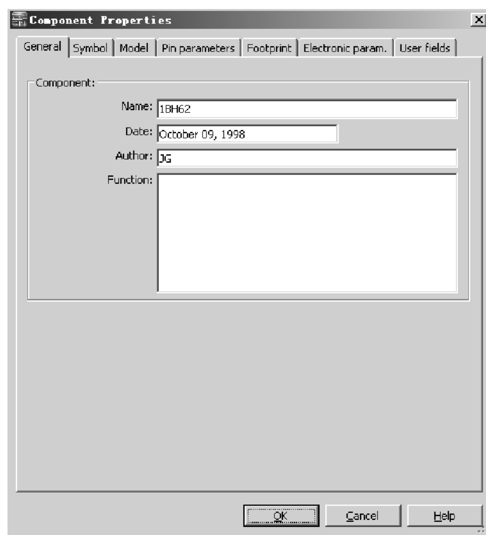


图 2-30　元器件的属性对话框

从图中可以看出，Multisim 11 中一般元器件包括下列 7 个方面的信息：

（1）元器件的一般性资料：包括元器件名称、元器件制造商、创建时间和制作者等信息。

（2）元器件符号：元器件在电路中的图形表示。

（3）元器件模型：提供电路仿真所需要的参数。

（4）引脚参数：提供元器件的引脚参数信息。

（5）元器件封装：提供给印制电路板设计的元器件的外形。

（6）元器件的电气参数：元器件在实际应用时应该考虑的参数指标。

（7）用户使用信息：包括卖主、状况及价格等。

由此可见，要全新创建一个仿真元器件并不简单。Multisim 11 的库中虽然存放着元器件的扩展信息，但若要创建一个元器件，需要输入很多的细节，一般难以做到，因此应尽可能使用元器件编辑工具修改一个已存在的相似的元器件，而不是去创建一个新的元器件。

2.3.2　元器件符号编辑器的使用

Multisim 11 提供了元器件符号编辑器，执行菜单命令 Tools \ Symbol Editor，即可弹出元器件符号编辑器对话框，如图 2-31 所示。

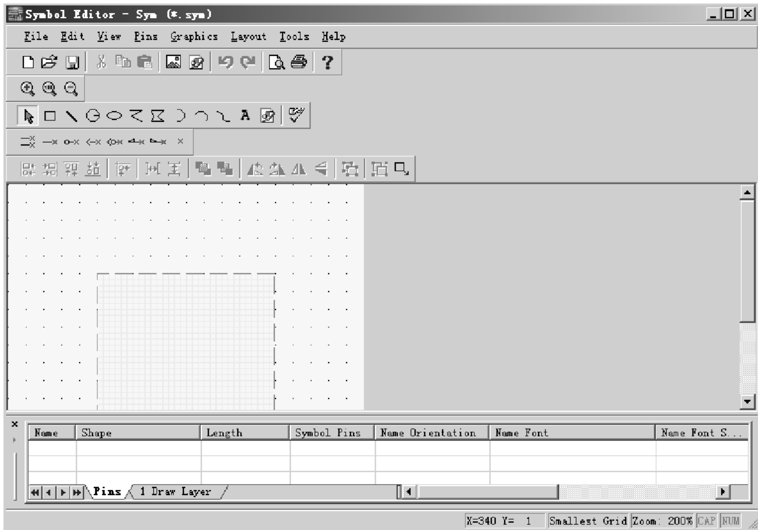


图 2-31　元器件符号编辑器对话框

从图 2-31 可以看出，符号编辑器由菜单栏、工具栏、设计窗口、调色板和状态栏等 5 部分组成。

1. 菜单栏

符号编辑器的菜单栏如图 2-32 所示。

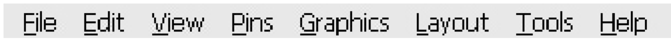


图 2-32　符号编辑器的菜单栏

（1）File：提供文件的存储、打印及设计窗口大小等命令，与其他窗口软件中的 File 菜单大同小异。其下拉菜单如图 2-33 所示。

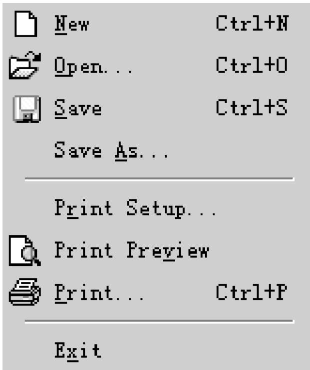


图 2-33　File 命令的下拉菜单

（2）Edit：提供电路符号的常规编辑功能，其下拉菜单如图 2-34 所示。

其中，Undo Moving 是撤消已经做的改动；如已多次改动，可多次启动该命令，一步一步撤消所做的改动。Redo 是重做功能。其余命令是常规的命令。此处不再赘述。

（3）View：提供显示或隐藏工具栏、状态栏、栅格或样张边框的命令，以及对图形进行大小缩放处理，其下拉菜单

如图 2-35 所示。

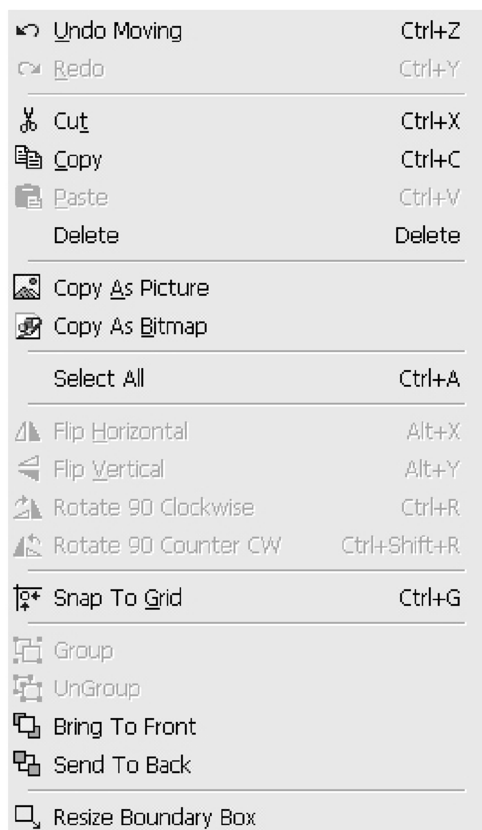


图 2-34 Edit 命令的下拉菜单

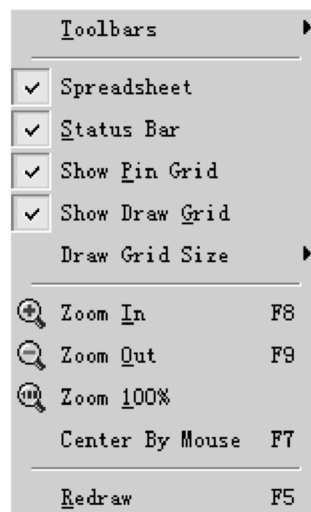


图 2-35 View 命令的下拉菜单

（4）Pins：其下拉菜单如图 2-36 所示。这里有 8 种形状的引脚供选择，也可以执行 Default Pin Options 菜单命令，弹出如图 2-37 所示的 Default Pin Options 对话框。

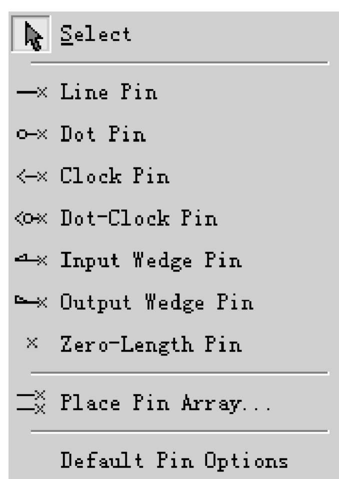


图 2-36 Pins 命令的下拉菜单

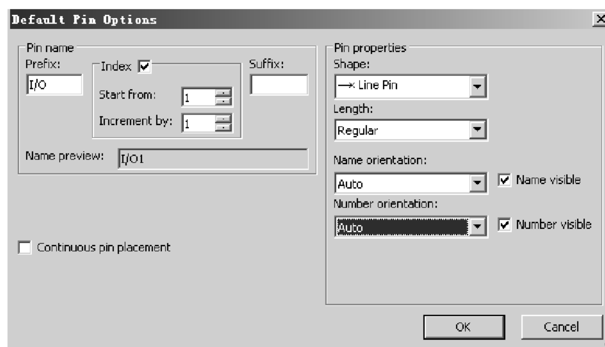


图 2-37 Default Pin Options 对话框

在此对话框中，用户可方便地对将要放置的引脚名称、索引数据和增量进行设置，同时还可以选择引脚形状、长度、引脚名和序号的摆放方向等。

（5）Graphics：提供绘制各项图形和文字等操作的工具，其下拉菜单如图 2-38 所示。

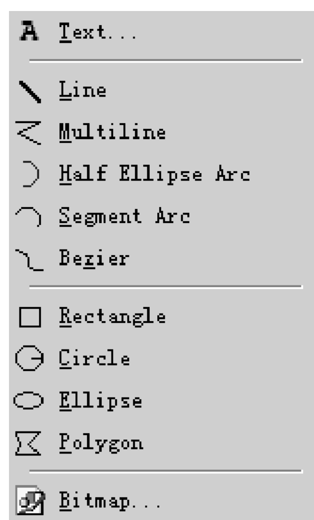


图 2-38　Graphics 命令的下拉菜单

（6）Layout：提供绘制元器件符号的布局操作，其下拉菜单如图 2-39 所示。

执行 Layout 命令的下拉菜单命令，可以实现所选中图形的左对齐、水平中心对齐、右对齐、顶部对齐、竖直中心对齐和底部对齐等操作。

（7）Tools：提供检查符号和自定义等操作，其下拉菜单如图 2-40 所示。

（8）Help：提供帮助命令，其下拉菜单如图 2-41 所示。

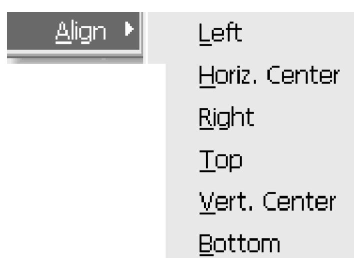


图 2-39　Layout 命令的下拉菜单

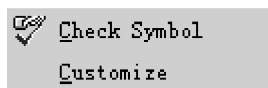


图 2-40　Tools 命令的下拉菜单

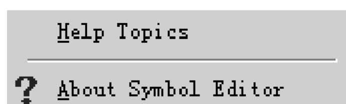


图 2-41　Help 命令的下拉菜单

2. 符号编辑器的工具栏

符号编辑器共有 5 个工具栏，分别为：

（1）标准工具栏，与常用软件的系统工具栏的功能基本相同，如图 2-42 所示。

（2）屏幕工具栏，提供屏幕的放大、缩小和 100% 操作，如图 2-43 所示。

（3）画图工具栏，提供绘制各项图形和文字等操作的工具，如图 2-44 所示。



图 2-42　符号编辑器的标准工具栏



图 2-43　符号编辑器的屏幕工具栏



图 2-44　符号编辑器的画图工具栏

（4）引脚放置工具栏，提供 8 种不同形状的引脚，供选择使用，如图 2-45 所示。

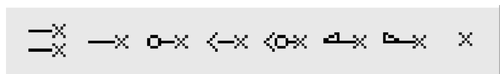


图 2-45　符号编辑器的引脚放置工具栏

（5）绘制工具栏，提供选中图形的对齐、旋转等操作，如图 2-46 所示。

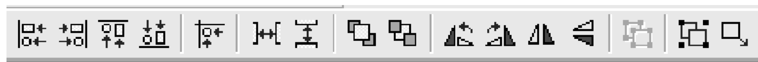


图 2-46　符号编辑器的绘制工具栏

3. 设计区域

窗口中间为元器件符号编辑设计区域，可在此区域创建或修改图形符号。

4. 状态栏

窗口最下面为状态栏，显示有关当前所选对象的信息。

5. 实例

使用元器件符号编辑器创建一个符合我国国家符号标准的五端运算放大器 CF741（与国外型号 LM741 对应）新符号，如图 2-47所示。

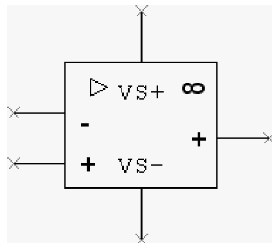


图 2-47　五端运算放大器 CF741 的新符号

创建 CF741 新元器件符号基本步骤如下：

（1）进入 Multisim 11，执行 Tools \ Symbol Editor 命令，进入 Symbol Editor 窗口，如图 2-48 所示。

（2）单击绘制工具栏中的按钮，光标变为四方箭头状，移动光标去调整设计区域中的虚线方框大小，此处调整为 6 格 × 5 格。

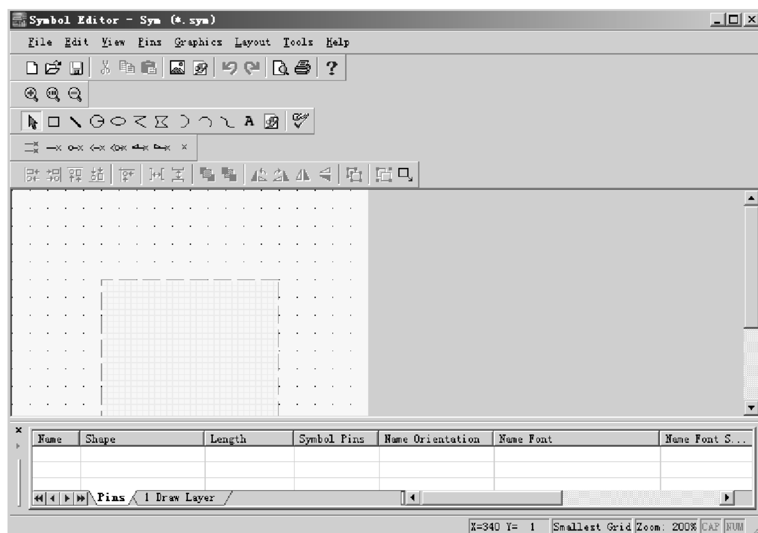


图 2-48　Symbol Editor 窗口

（3）单击画图工具栏中□按钮，在设计区域按虚线方框大小绘制矩形。

（4）单击画图工具栏中⊠按钮，在矩形中画出一个▷。

（5）单击画图工具栏中 A 按钮，弹出 Enter Text（输入文字）对话框，如图 2-49 所示。

在对话框的 Enter Text 栏中，输入字符“8”，并选择字型、字号和方向，然后单击 OK 按钮，光标上就粘浮输入的文字，拖动光标到适当的位置后，单击鼠标左键即可将字符放置。同理，可在方框中放置 +、－字符。

（6）执行 Pins \ Default Pin Option 菜单命令，弹出 Default Pin Options 对话框，如图 2-37 所示。在对话框中，对将要放置的引脚名称等信息进行设置。

（7）单击引脚放置工具栏中—×按钮，移动光标将引脚放在矩形外离同相端“+”最近处，作为同相输入引脚。同理可放置其余的 4 个引脚。

编辑好的 CF741 元器件符号如图 2-50 所示。

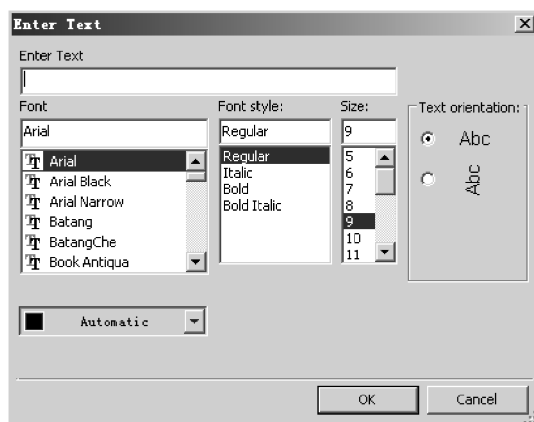


图 2-49　Enter Text（输入文字）对话框

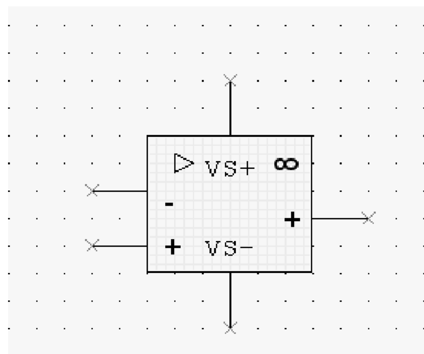


图 2-50　编辑好的 CF741 元器件符号

（8）保存编辑好的 CF741 元器件符号，关闭 Symbol Editor。但要使该元器件符号能在仿真电路中正常使用，还需对元器件引脚与元器件模型之间做进一步设置。

2.4　创建仿真元器件

当我们需要的仿真元器件不能通过编辑修改已有的元器件得到时，可以自己创建一个新元器件。但创建一个新仿真元器件并不容易，不仅需要一定的元器件建模方面的知识，还需要获得所创元器件的诸多技术参数，有些参数甚至需要元器件生产厂家提供。

下面以创建国产双极型晶体管 3DG7 仿真元器件为例介绍创建一个仿真元器件的过程：

2.4.1　元器件创建向导第 1 步

执行 Tools \ Component Wizard 命令，进入元器件创建向导第 1 步对话框，如图 2-51 所示。

首先在 Component Name 栏内输入所要建立的元器件名称 3DG7，在 Component Type 栏内指定该元器件的类型，其中包括 Analog（模拟元器件）、Digital（数字元器件）、Verilog_HDL（Verilog 语言所撰写的元器件）和 VHDL（VHDL 语言所撰写的元器件）等 4 个选项，

此处选择 Analog 选项。选取 Analog 选项后，还需在对话框下面的 3 个选项中选择，说明如下：

（1）Simulation and layout（mode and footprint）：该选项设定该元器件包括电路仿真模型及元器件外形。

（2）Simulation only（model）：该选项设定该元器件只需包含电路仿真所需的元器件模型。

（3）Layout only（footprint）：该选项设定该元器件只需包含印制电路板设计所需的元器件外形（Footprint）。

在此选择第 1 项，即同时产生元器件模型及元器件外形。

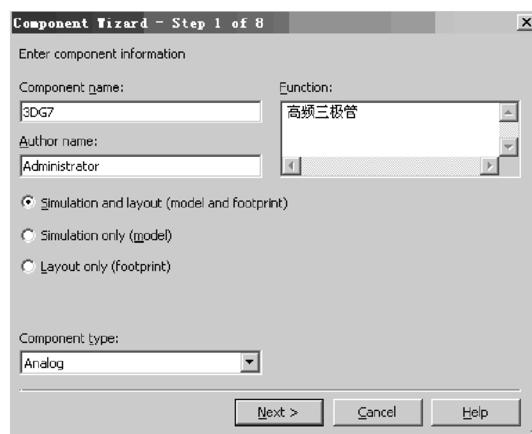


图 2-51　创建元器件向导第一步对话框

2.4.2　元器件创建向导第 2 步

完成创建向导的第一步有关项设定后，单击 Next > 按钮，进入第 2 步对话框，如图 2-52所示。

该对话框的功能是定义元器件外形（即元器件封装），首先在 Footprint type 栏内指定元器件外形名称，此处指定为 TO－92，而元器件外形名称必须符合 PCB 软件所要求的定义名称。Signal section component 选项设定该元器件为单一包装元器件，如果选取该选项，则可在其下的栏内指定该元器件的引脚数。Multi－section component 选项设定该元器件为复合包装元器件。此处选择前者，然后在 Number of pins 栏内指定该元器件包含的引脚数，此处指定为 3。在其栏的右边有一个 Select a Footprint 按钮，单击该按钮将出现一系列符合 PCB 软件标准的外形封装，如图 2-53 所示。

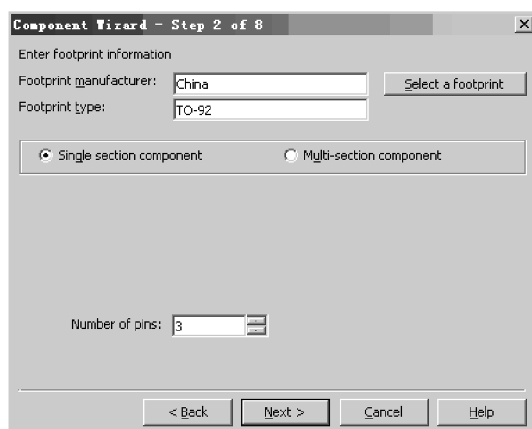


图 2-52　创建元器件向导第 2 步对话框

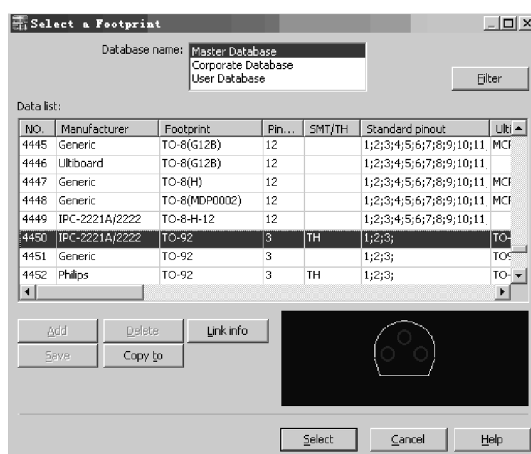


图 2-53　Select a Footprint 对话框

单击图 2-53 中的 Select 按钮，返回到创建元器件向导第 2 步对话框。

2.4.3　元器件创建向导第 3 步

单击第 2 步对话框中的按钮 Next >，进入创建元器件向导第 3 步对话框，如图2-54所示。

显然图 2-54 中的元器件符号并不是 3DG7 国标符号，这时可以单击 Copy from DB 按钮，弹出 Select a Symbol 对话框，如图 2-55 所示。

在对话框中找到一个与国标符号 3DG7 相同的符号，单击 OK 按钮，即可将图 2-54 中的符号变更为所选符号，如图 2-56 所示。

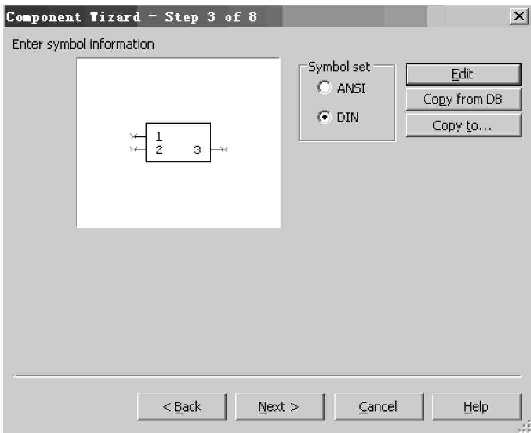


图 2-54　创建元器件向导第 3 步对话框

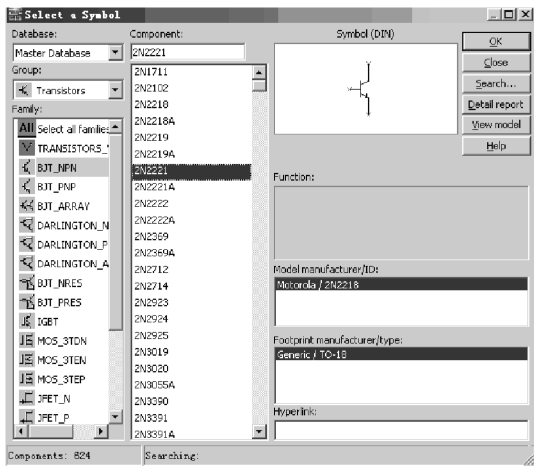


图 2-55　Select a Symbol 对话框

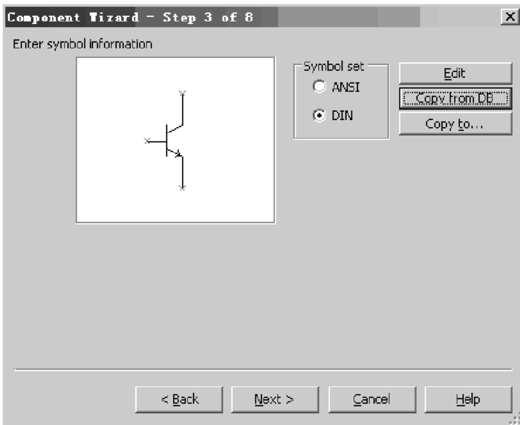


图 2-56　变更元器件符号

2.4.4　元器件创建向导第 4 步

单击图 2-56 中的按钮 Next >，进入创建元器件向导第 4 步对话框，如图 2-57 所示。

在创建元器件向导第 4 步对话框中，对引脚参数进行设置。可以添加或删除隐藏引脚，还可以对引脚类型进行设置。

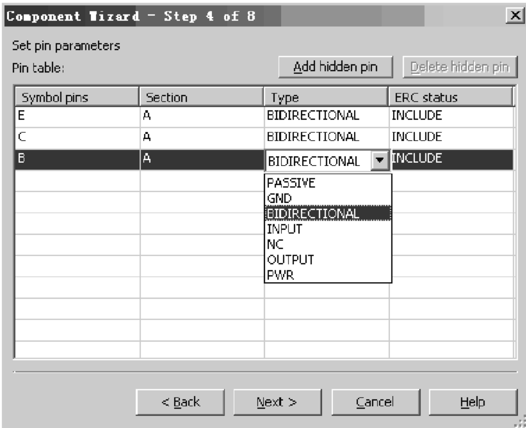


图 2-57　创建元器件向导第 4 步对话框

2.4.5　元器件创建向导第 5 步

单击图 2-57 中的按钮 Next >，进入创建元器件向导第 5 步对话框，如图 2-58

所示。

该对话框用于设置符号与电路板封装间的映射，其中的 Symbol pins 为符号引脚名称，而 Footprint pins 为电路板封装引脚号码，必须参照元器件的实际资料来定义。这里的 E 脚对应电路板封装引脚号码 1，C 脚对应电路板封装引脚号码 2，B 脚对应电路板封装引脚号码 3。符号引脚与电路板封装间引脚的映射，主要是为了将来制作电路板时应用。

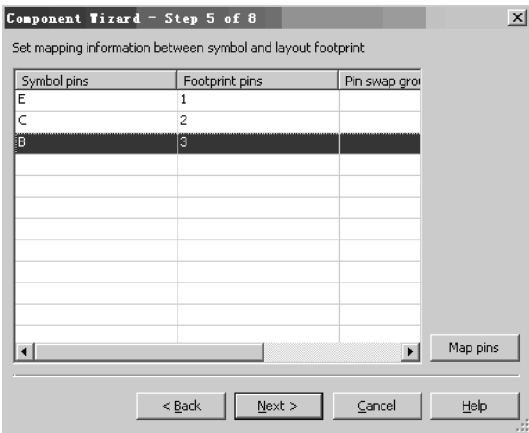


图 2-58　创建元器件向导第 5 步对话框

2.4.6　元器件创建向导第 6 步

单击图 2-58 中的按钮 Next > ，进入第 6 步对话框，如图 2-59 所示。

该对话框主要用于建立元器件的仿真模型。为方便起见，通常是从数据库中复制已有元器件模型。方法是，单击 Select from DB 按钮，弹出 Select Model Data 对话框，如图 2-60 所示。

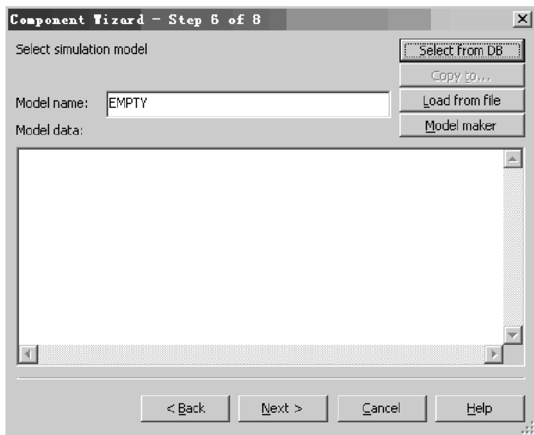


图 2-59　创建元器件向导第 6 步对话框

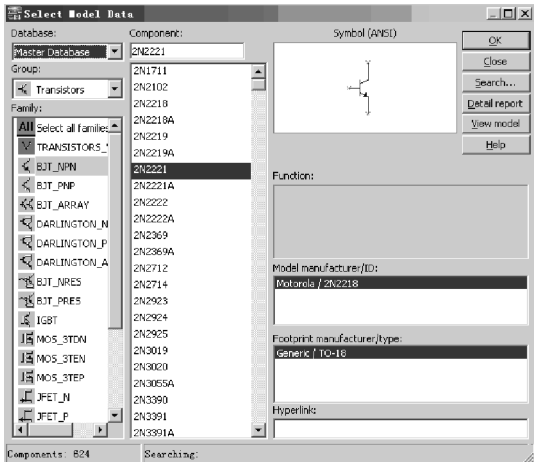


图 2-60　Select Model Data 对话框

在该对话框中，我们选择 2N2218 作为复制元器件模型的来源，单击 OK 按钮，即可返回到创建元器件向导第 6 步对话框，如图 2-61 所示。

单击图 2-61 中的 Model Maker 按钮，弹出图 2-62 所示的 Select Model Maker 对话框。

该对话框提供了 24 个模拟元器件模型产生器，是为方便用户专门设计的，但这种基于元器件参数数据的 SPICE 模型，对用户来说，很难从一般元器件手册上查到，所以很少采用。

图 2-59 中的 Load from File 按钮，是由用户加载模型程序，模型程序是由 C 语言编写的元器件模型定义。

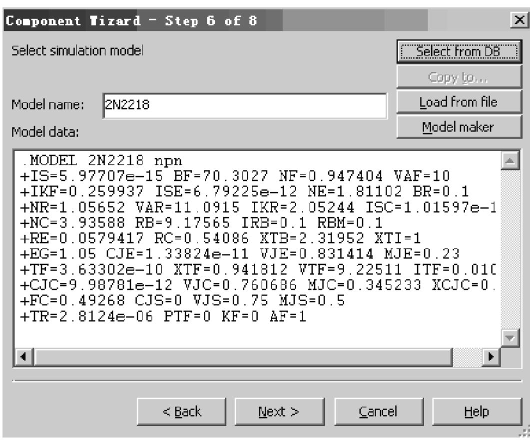


图 2-61　选择模型后的向导第 6 步对话框



图 2-62　Select Model Maker 对话框

2.4.7　元器件创建向导第 7 步

单击图 2-61 中的按钮 Next > ，进入创建元器件向导第 7 步对话框，如图 2-63 所示。

该对话框是对元器件符号和仿真模型的对应关系进一步修改和确认。当有错误时，系统会给出提示。在图 2-63 中，系统提示 BJT 模型正确的顺序是集电极、基极和发射极。因此，需通过重新选取右边栏中的序号来修改。选择方法是单击序号，然后在所弹出的下拉列表中选择新序号，如图 2-64 所示。

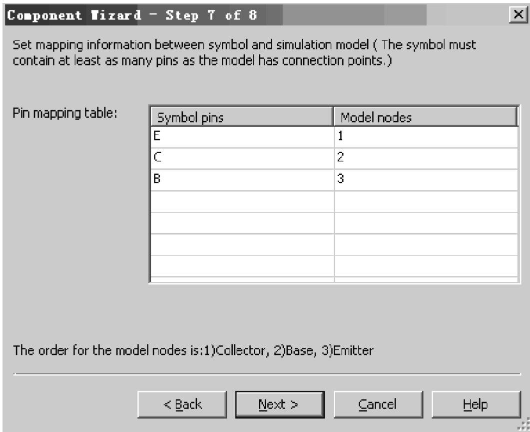


图 2-63　创建元器件向导第 7 步对话框

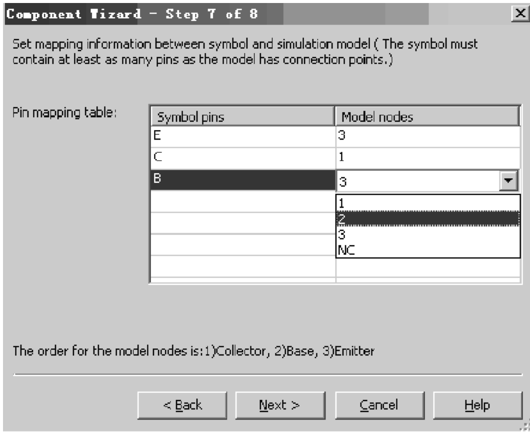


图 2-64　对元器件引脚顺序进行修改

2.4.8　元器件创建向导第 8 步

修改完成后，单击 Next > 按钮，进入创建元器件向导第 8 步对话框，如图 2-65 所示。

在该对话框中，将创建的元器件保存到元器件库，操作步骤如下：

（1）选择元器件数据库、族和系列：在“User Database”的“Group”下拉列表中选择“Transistor”，然后单击 Add Family 按钮，创建一个系列“China”，用于存放创建的元器件。

（2）单击 Finish 按钮，完成创建仿真元器件。

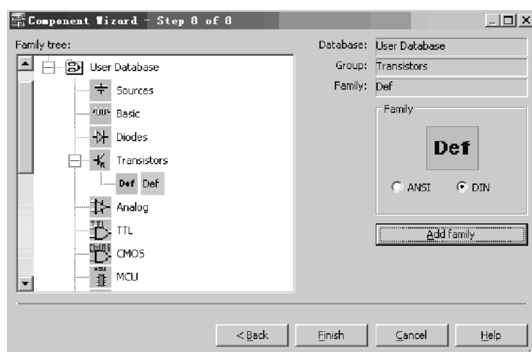


图 2-65　创建元器件向导第 8 步对话框

2.5　元器件查找和元器件库管理

2.5.1　元器件查找

Multisim 11 提供了强大的搜索功能来帮助用户方便快速地找到所需的元器件，其具体操作步骤如下：

（1）执行菜单命令 Place \ Component…，弹出选择元器件对话框，如图 2-66 所示。

（2）单击 Search... 按钮，弹出搜索元器件对话框，如图 2-67 所示。

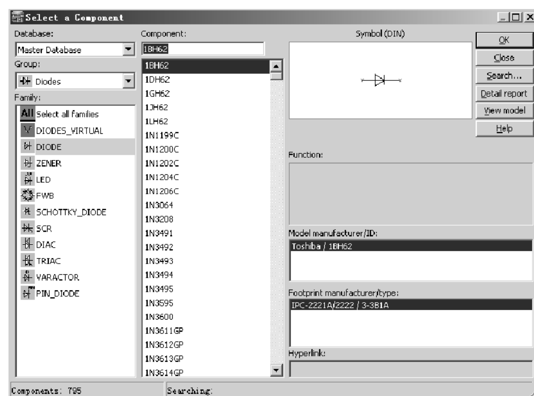


图 2-66　选择元器件对话框

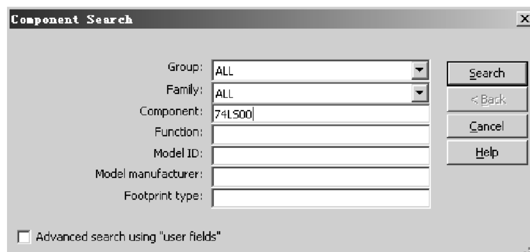


图 2-67　搜索元器件对话框

该对话框提供多项搜索条件。输入搜索的关键字，可以是数字和字母，不区分大小写，但至少要有一个条件，条件越多越精确。例如，在 Component（元器件名称）条件栏中输入“74LS00”。

（3）单击 Search 按钮开始查找，查找结束后自动弹出搜索结果对话框，如图 2-68 所示。

（4）从搜索结果中选中所需的元器件，单击 OK 按钮，弹出元器件浏览对话框并自动选中该元器件，再次单击 OK 按钮，即可将其放置在电路工作区中。

2.5.2　元器件库的管理

Multisim 11 设置有对元器件库进行管理的功能，但由于 Master Database 的元器件库用户不能修改，所以元器件库的管理操作仅对 Corporate Database 和 User Database 的元器件库有效。

执行 Tools \ Database \ Database Manager 命令，可打开如图 2-69 所示的对话框。

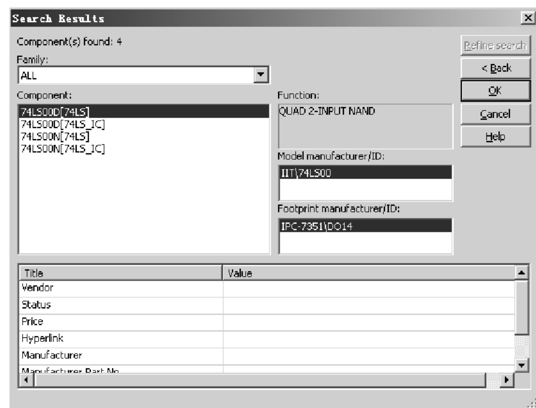


图 2-68　搜索结果对话框

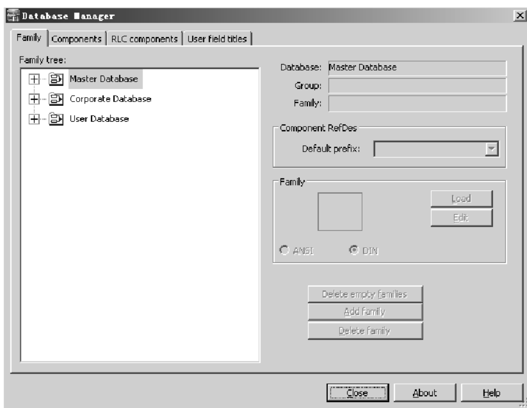


图 2-69　Database Manager 对话框

（1）添加元器件系列：在用户数据库中添加一个新元器件系列的操作步骤如下：

1）在图 2-69 所示对话框中选择“Family ”选项卡。

2）在 Family Tree 选项区中，单击“User Database”库，选中将要添加新元器件系列所在的元器件族并单击 Add Family 按钮，弹出如图 2-70 所示的“New Family Name”对话框。

3）在 New Family Name 对话框中，可以在“Select family group”（元器件族选择）栏中选择将要添加新元器件系列所在的元器件族，在“Enter family name”（元器件系列命名）栏中输入新建元器件系列名称，最后单击 OK 按钮，就自动返回 Database Manager 对话框。

4）在 Database Manager 对话框相应的元器件族下就会看到一个新元器件系列。例如，在元器件族 Indicators 中添加“光电器件”元器件系列，添加的元器件系列如图 2-71 所示。



图 2-70　所示的“New Family Name”对话框

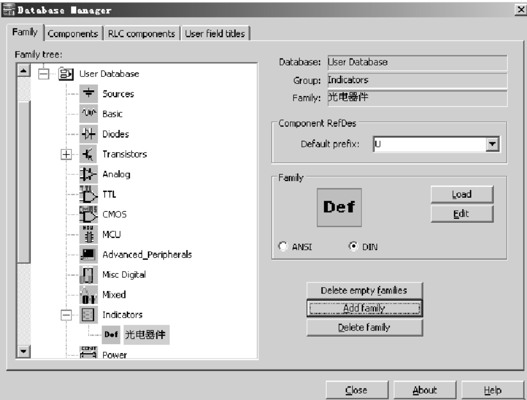


图 2-71　添加光电器件系列的 Database Manager 对话框

（2）删除元器件系列：若对不需要的元器件系列，可利用下列步骤删除：

1）在 Database Manager 对话框的“Family Tree”选项区中，选中将要删除的元器件系列。

2）单击 Delete Family 按钮，弹出一个“删除确认”对话框。

3）单击“确定”按钮，所选中的元器件系列就会自动从元器件系列列表中消失。

（3）删除空元器件系列：如果元器件系列下没有具体型号的元器件，需要删除空元器件系列，具体操作步骤如下：

1）在 Database Manager 对话框中，选中“Family”选项卡。

2）单击 Delete Empty Families 按钮，弹出提示对话框，询问是否要删除所有空元器件系列，如图 2-72 所示。

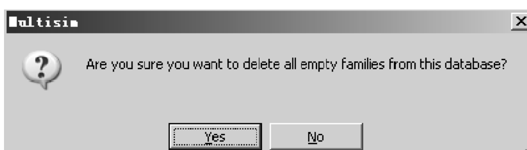


图 2-72 删除空元器件系列提示对话框

3）确认无误后，单击 Yes 按钮，所有空元器件系列将会从元器件系列列表中消失。

（4）修改用户使用标题：Multisim 11 允许用户修改元器件数据库中的用户使用标题，具体修改方法如下：

1）在 Database Manager 对话框中，选中 User field titles 选项卡。弹出如图 2-73 所示的 User field titles 选项卡对话框。

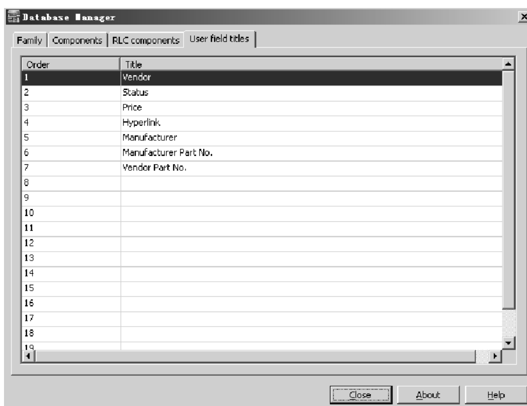


图 2-73 User field titles 选项卡对话框

2）在 User field titles 选项卡对话框中，Multisim 11 提供了 20 个可供用户填写的标题，默认状态下已填写了 Vendor（销售商）、Status（状态）、Price（价格）、Hyperlink（超链接）、Manufacturer（制造商）、Manufacturer Part No.（制造商编号）和 Vendor Part No.（销售商编号）7 个标题，其余可供用户自由填写。

3）确认标题修改无误后，单击 Close 按钮。

（5）复制仿真元器件：在 Multisim 11 的数据库中，公司数据库和用户使用数据库初次安装后是空的，允许用户创建和修改元器件。而创建一个新元器件涉及大量的参数，有的参数甚至需要厂家提供，以致造成创建元器件模型是一项复杂的工作。所以，常常需要将主数据库中的元器件模型复制到公司数据库或用户使用数据库中，然后再将元器件模型的个别参数做适当修改，建立所需要元器件的模型。

复制元器件的操作步骤如下：

1）单击 Database Manager 对话框中的“Components”选项卡，弹出 Components 对话框，如图 2-74 所示。

2）在 Components 对话框中，单击 Filter 按钮，弹出 Filter（筛选）对话框，如图 2-75所示。

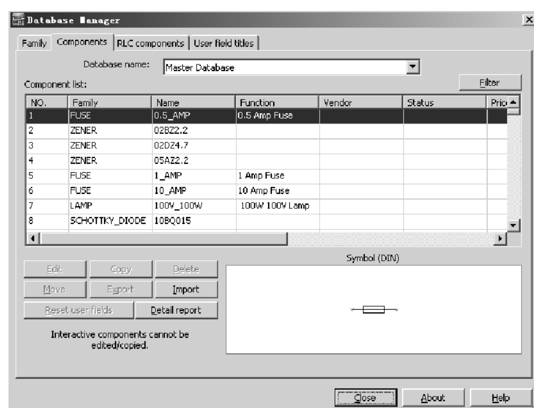


图 2-74　Components 对话框

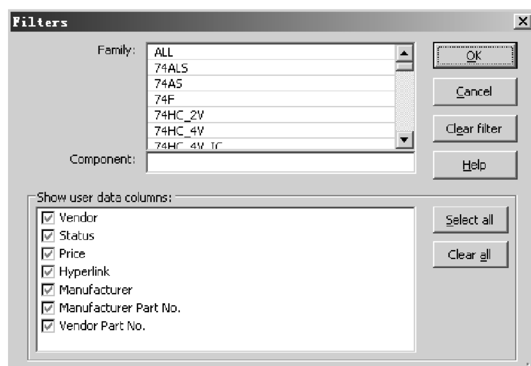
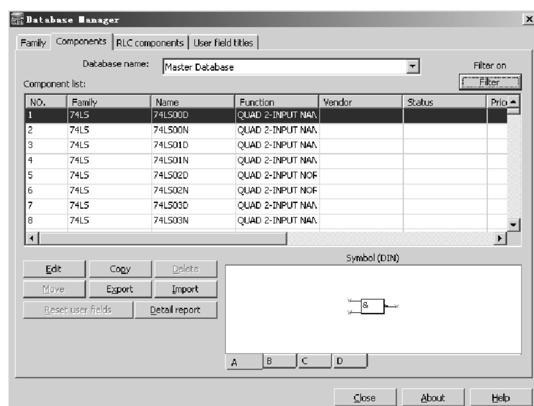


图 2-75　Filter（筛选）对话框

若在 Family 栏中选择 74LS 作为筛选条件，单击 OK 按钮，即可弹出符合条件的元器件列表，如图 2-76 所示。

在筛选结果对话框中，选择要复制的元器件，如选中 74LS00D 元器件，单击 Copy 按钮，弹出如图 2-77 所示的选择目标元器件系列对话框。



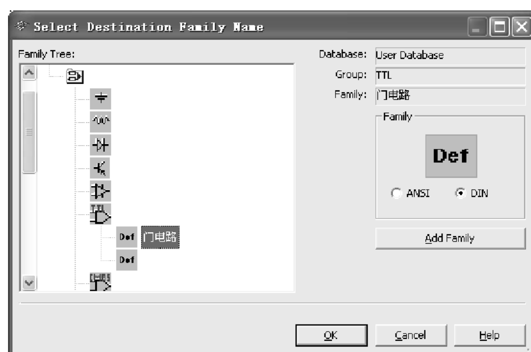


图 2-76　筛选结果对话框　　　　图 2-77　选择目标元器件系列对话框

3）选择要复制元器件的目标元器件数据库、所在的族和系列，如选新建立的“门电路”系列，然后单击 OK 按钮，就会返回 Database Manager 对话框，完成复制。

（6）删除仿真元器件：若要删除公司数据库和用户使用数据库中的某个元器件，可按如下步骤进行：

1）单击 Database Manager 对话框中的“Components”选项卡。

2）在 Database Name 下拉菜单中，选择要删除元器件所在的数据库，可删除元器件的数据库只能是公司数据库和用户使用数据库，如图 2-78 所示。

3）如果列表中元器件繁多，可利用 Filter 进行元器件筛选。

4）在元器件列表窗口中，选择要删除的元器件。

5）单击“Delete”按钮，就会看到所选中的元器件从元器件列表中消失。

（7）编辑仿真元器件：在仿真电路图的建立过程中，有时所要放置的元器件，Multisim 10 提供的元器件库中没有，但和元器件库中的某个元器件特性相近，就可以通过编辑已存

在元器件的特性来创建新元器件。可以编辑的元器件特性主要有元器件的一般特性（如大小）、符号、引脚模型、元器件模型、封装、电气特性和用户使用域等，具体编辑步骤如下：

1）单击 Database Manager 对话框中的“Components”选项卡。

2）在 Database Name 下拉菜单中，选择要编辑元器件所在的数据库。

3）利用 Filter 进行元器件筛选。

4）在元器件列表 Components 窗口，选择要编辑的元器件。

5）单击 Edit 按钮，弹出元器件属性编辑对话框，如图 2-79 所示。

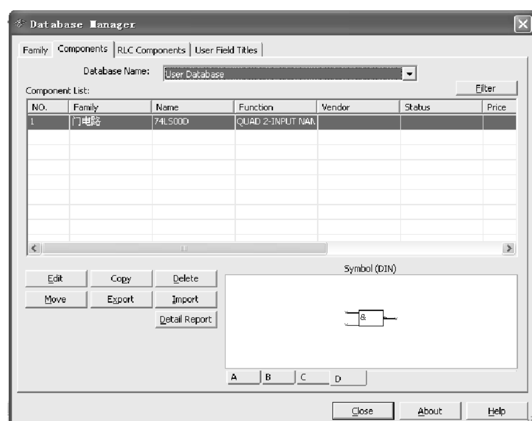


图 2-78　删除仿真元器件对话框

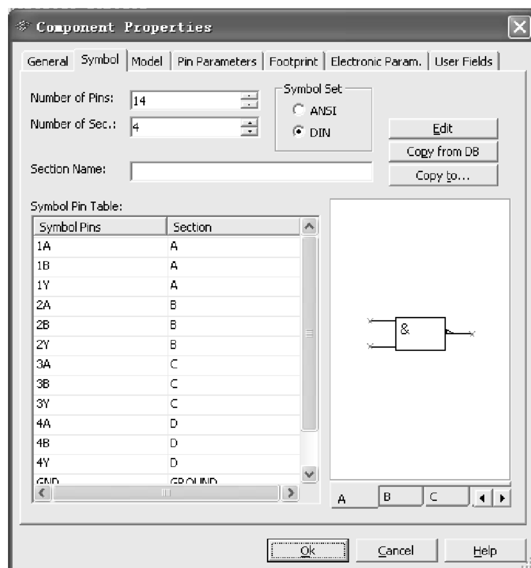


图 2-79　元器件属性编辑对话框

6）由图 2-79 可知，元器件的各种特性分门别类地放在 7 个选项中，通过编辑这些内容，就可以创建一个新元器件。

7）单击 OK 按钮，弹出“保存元器件”对话框，在该对话框中，可以选择编辑后的新元器件存放的数据库、族和系列。

8）选择新元器件存放的系列后，单击 OK 按钮，自动返回 Database Manager 对话框。

思 考 题

2-1　Multisim 11 包含有几个种类的元器件库？说明各元器件库的区别。

2-2　什么是现实元器件？什么是虚拟元器件？二者在元器件库中如何区别？

2-3　Master Database 中含有多少个元器件库？说明这些元器件库的名称。

2-4　虚拟元器件工具栏中有多少种不同类型的虚拟元器件？

2-5　仿真元器件通常具有哪些信息？

2-6　元器件符号编辑器具有什么功能？说明利用元器件符号编辑器如何编辑元器件和创建元器件的方法。

2-7　如何将某一国产元器件编辑为仿真元器件？

2-8　如何根据已知元器件的信息创建一个新仿真元器件？

2-9　说明元器件库管理器的基本功能。

第 3 章　虚拟仪器仪表的使用

Multisim 11 的虚拟仪器仪表，大多具有和真实仪器仪表相同的面板，用户可根据需要选择，将其调到电路窗口，并与电路连接。在仿真运行时，完成对电路的电压、电流、电阻数值及波形等物理量的测量，用起来几乎和真的一样。由于仿真仪器的功能是软件化的，所以具有测量数值准确、价格低廉、使用灵活方便的优点。Multisim 11 提供了 21 种虚拟仪器仪表，本章将说明这些虚拟仪器仪表的使用方法。

3.1　电压表

Multisim 11 的指示器件库中提供有电压表供用户使用，该仪表为自动转换量程、交直流两用的 4 位数字表，而且在电路图中使用的数量不受限制。

3.1.1　电压表的图标

选用电压表可以从 Indicators（指示器件库）中将电压表拖到电路工作区中，其图标如图 3-1 所示。电压表的两个接线端通过旋转可以改变为上下连接或左右连接。

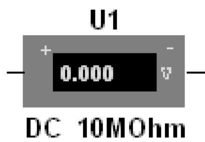


图 3-1　电压表的图标

电压表用于测量电路两点间的交流或直流电压，当测量直流电压时，电压表两个接线端有正负之分，使用时按电路的正负极性对应相接，否则读数将为负值。

3.1.2　电压表的设置

电压表在使用前，应对其属性进行设置。双击调入工作区的电压表图标，即出现电压表属性对话框，如图 3-2 所示。对话框中电压表属性设置方法如下：

（1）Label 标号标签。单击 Label 标号标签，可以设置电压表在图中参考编号、标号。

（2）Value 标称值标签。单击 Value 标称值标签，可以设置电压表的内阻和测量电压的模式。电压表的内阻默认值为 10MΩ，这样大的内阻一般对被测电路的影响很小。根据测量需要，可对电压表的内阻进行调整。测量电压的模式设置，是根据被测电压的类型选择“DC（直流）”或“AC（交流）”，当测量交流电压时，显示数值为有



图 3-2　电压表属性设置对话框

效值。

（3）对话框中的另外 5 个标签，是对电压表进行显示方式、故障模拟和引脚形式等设置，一般采用默认设置即可。

3.1.3　电压表的连接

它的两个接线端使用时与被测量的电路并联连接，并注意按电路的正负极性对应相接。直流电路电压表应用的实例如图 3-3 所示。

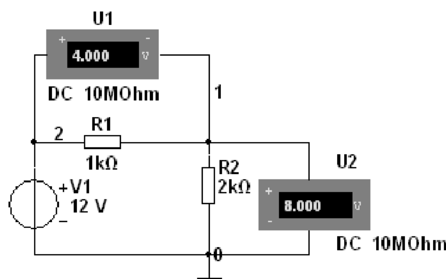


图 3-3　电压表的连接

3.2　电流表

3.2.1　电流表的图标

电流表也位于 Multisim 11 的 Indicators（指示器件库）中，选中该仪表按下鼠标左键可将其拖到电路工作区，其图标如图 3-4 所示。电流表的两个接线端通过旋转可以改变为上下连接或左右连接。

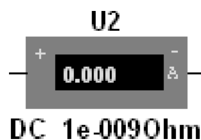


图 3-4　电流表的图标

电流表用于测量电路的交流或直流电流，它有两个接线端，当测量直流电流时，电流表两个接线端有正负之分，使用时按电路的正负极性对应相接，否则读数将为负值。

3.2.2　电流表的设置

电流表在使用前，一般应对其属性进行设置。双击调入工作区的电流表图标，即出现电流表属性对话框，如图 3-5 所示。电流表属性设置方法如下：

（1）Label 标号标签。单击 Label 标号标签，可以设置电流表在图中标号、参考编号。

（2）Value 标称值标签。单击 Value 标称值标签，可以设置电流表的内阻和测量电流的模式。电流表的内阻默认值为 $10^{-9}\Omega$，这样小的内阻一般对被测电路的影响很小。根据测量需要，可对电流表的内阻进行调整。测量电流模式的设置，是根据被测电流的类型选择“DC（直流）”或“AC（交流）”，测量交流电流时显示数值为有效值。



图 3-5　电流表属性设置对话框

（3）对话框中的另外 5 个标签，是对电流表进行显示方式、故障模拟和引脚形式等设置，一般采用默认设置即可。

3.2.3　电流表的连接

使用时电流表应与被测量的电路串联连接。图 3-6 所示为两只电阻并联连接后与 12V

直流电源连接，测量流过每只电阻的电流和电阻 R1 两端的电压。

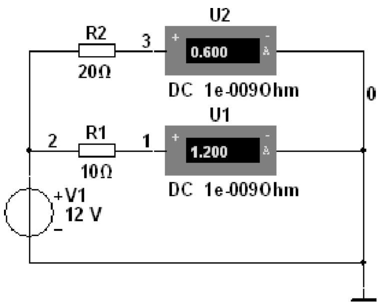


图 3-6　电流表的应用电路

3.3　数字万用表

3.3.1　数字万用表的图标和面板

数字万用表图标如图 3-7a 所示，双击该图标即可出现数字万用表的面板，如图 3-7b 所示。数字万用表使用时自动调整量程，可测量电阻、交直流电压、交直流电流和电平等。



a) 数字万用表图标　　b) 数字万用表面板

图 3-7　数字万用表图标和面板

数字万用表面板上部有一个数字显示窗口，可显示 5 位数字。面板的中部有七个按钮，分别为电流（A）、电压（V）、电阻（Ω）、电平（dB）、交流（~）、直流（-）和设置(Set)，根据万用表测量信号的需要可进行相应的转换。面板的下部是正表笔和负表笔的连接端。

3.3.2　数字万用表的内部参数设置

按下 Set... 按钮，弹出数字万用表的参数设置对话框，如图 3-8 所示。

在上对话框中，可对数字万用表的表内阻及量程等参数进行设置。

1. Electronic setting（电子设置栏）

（1）Ammeter resistance（R）：设置电流表的表头内阻，其大小会影响电流测量的准确度。

（2）Voltmeter resistance（R）：设置电压表的表头内阻，其大小会影响电压测量的准

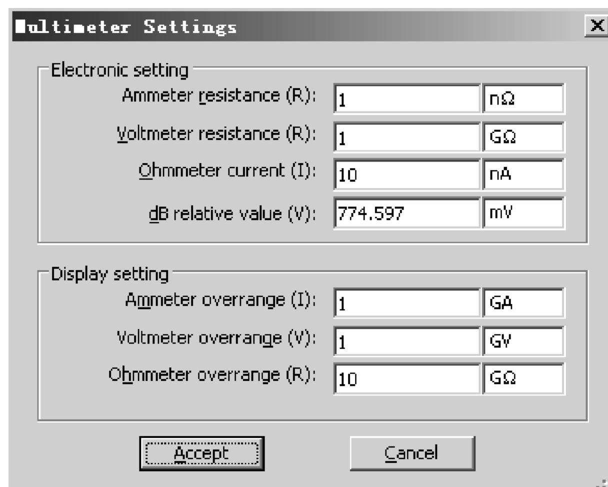


图 3-8 数字万用表参数设置对话框

确度。

（3） Ohmmeter current（I）：设置欧姆表的表头电流，其大小会影响电阻测量的精度。

（4） dB relative value（V）：相应的 dB 电压值。

2. Display setting（显示设置栏）

（1） Ammeter overrange（I）：设置电流表的量程。

（2） Voltmeter overrange（V）：设置电压表的量程。

（3） Ohmmeter overrange（R）：设置欧姆表的量程。

设置完成后，单击 Accept 按钮保存所作的设置，单击 Cancel 按钮取消设置。

3.3.3 数字万用表的使用方法

1. 数字万用表测量交直流电压（V）

两只表笔与被测量的电路并联连接。档位设置为按下“V”按钮，根据测量电压的类型进行“交流”或“直流”按钮的选择。测量交流电压时，测试显示数值为有效值；测量直流电压时，注意正、负表笔连接要与外电路一致，测试显示数值为平均值。

2. 数字万用表测量交直流电流（A）

两只表笔与被测量的电路串联连接。档位设置为按下“A”按钮，根据测量电流的类型进行“交流”或“直流”按钮的选择。测量交流电流时，测试显示数值为有效值；测量直流电流时，注意正、负表笔连接要与外电路一致，测试显示数值为平均值。

3. 数字万用表测量电阻（Ω）

两只表笔与被测量的器件或器件网络两端相接。档位设置为按下“Ω”按钮，测量类型选择“直流”按钮。

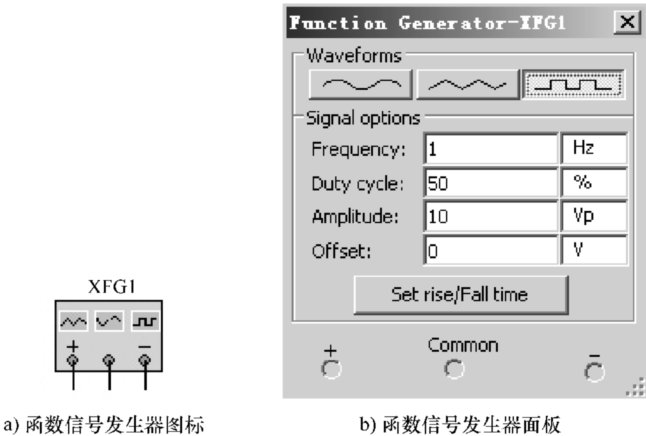
4. 电压损耗分贝（dB）

两只表笔分别与被测量的电路两个节点相连，测量电路两点之间的压降分贝值。档位设置为按下“dB”按钮，测量类型选择“交流”或“直流”按钮。

3.4　函数信号发生器

3.4.1　函数信号发生器的图标和面板

函数信号发生器是一个产生正弦波、三角波和方波信号的电压源，函数信号发生器图标如图 3-9a 所示。双击函数信号发生器图标即出现其面板图，如图 3-9b 所示。



a) 函数信号发生器图标　　b) 函数信号发生器面板

图 3-9　函数信号发生器图标和面板

函数信号发生器面板上部的三个信号波形选择按钮，用于选择仪器产生波形的类型。中间的几个选项窗口，分别用于选择产生信号的频率、占空比、信号幅度和直流偏置。

函数信号发生器面板下部的三个接线端子，通常 COM 端连接电路的参考地点，“+”为正波形端，“-”为负波形端。

3.4.2　连接

函数信号发生器的图标有+、Common 和-，三个输出端子与外电路相连，输出电压信号，其连接规则是：

1）连接+和 Common 端子，输出信号为正极性信号，峰-峰值等于 2 倍幅值。

2）连接 Common 和- 端子，输出信号为负极性信号，峰-峰值等于 2 倍幅值。

3）连接+和-端子，输出信号的峰-峰值等于 4 倍幅值。

4）同时连接+、Common 和- 端子，且把 Common 端子与公共地（Ground）符号相连，则输出两个幅度相等、极性相反的信号。

3.4.3　面板设置

改动面板上的相关设置，可改变输出电压信号的波形类型、大小、占空比或偏置电压等。

Waveforms 区：选择输出信号的波形类型，有正弦波、三角波和方波等 3 种周期性信号供选择。

Signal options 区：对 Waveforms 区中选取的信号进行相关参数设置。

Frequency：设置所要产生信号的频率。

Duty cycle：设置所要产生信号的占空比，该参数设置只对三角波和方波有效，对正弦波信号不起作用。

Amplitude：设置所要产生信号峰值，与信号直流偏置有关。

Offset：设置偏置电压值，即把正弦波、三角波、方波叠加在设置的偏置电压上输出。

Set Rise/Fall time 按钮：设置所要产生信号的上升时间与下降时间，而该按钮只有在产生方波时有效。单击该按钮后，出现如图 3-10 所示的对话框。

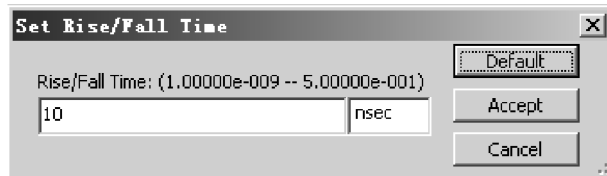


图 3-10　上升时间与下降时间设置对话框

此时，在栏中可以设定上升时间（或下降时间），再单击 Accept 按钮即可。如单击 Default ，则恢复为默认值。

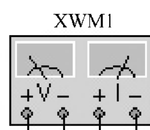
3.5　功率表

3.5.1　功率表的图标和面板

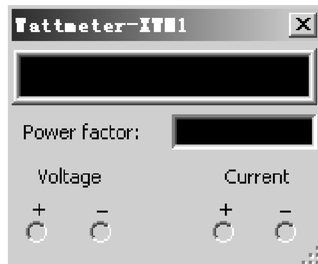
功率表（Wattmeter）用来测量电路的交、直流功率，其图标和仪器面板如图 3-11 所示。

3.5.2　连接

功率表的图标中有两组端子，左边两个端子为电压输入端子，与所要测量电路并联；右边两个端子为电流输入端子，与所在测量电路串联。



a) 功率表的图标



b) 功率表的面板

图 3-11　功率表的图标和面板

3.5.3　面板

电路连接好后，仿真运行所测得的功率将显示在上面的框内，该功率是平均功率，单位会自动调整。

Power Factor 框内，将显示功率因数，数值在 0 ~ 1 之间。

3.5.4　应用实例

用功率表测量如图 3-12 所示电路的功率及功率因数。

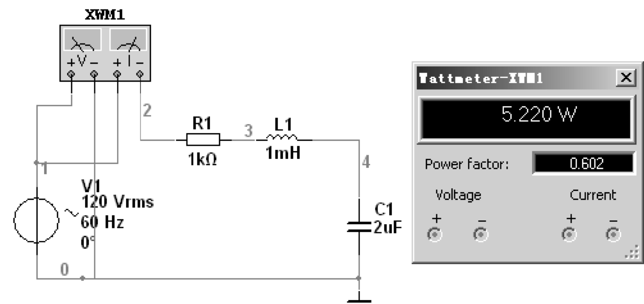


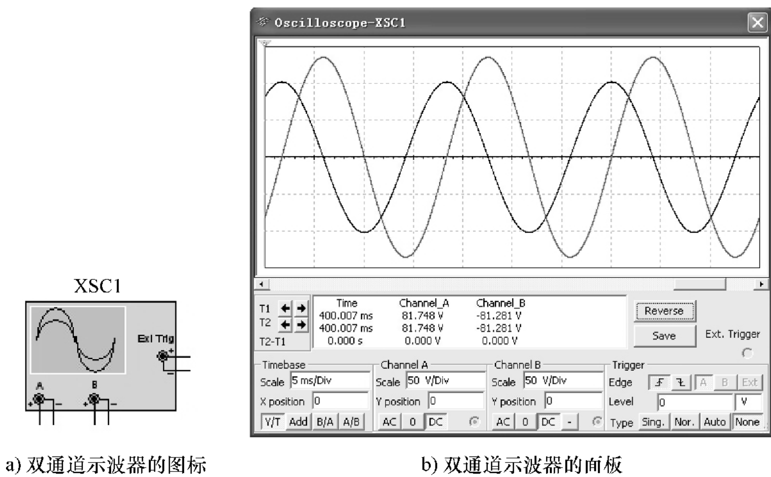
图 3-12　电路的功率及功率因数测量

测量结果显示：平均功率为 5. 220W，功率因数为 0. 602。

3. 6　双通道示波器和四通道示波器

3. 6. 1　Oscilloscope（双通道示波器）的图标和面板

Multisim 11 提供的双通道示波器的图标和面板如图 3-13 所示。



a) 双通道示波器的图标　　b) 双通道示波器的面板

图 3-13　双通道示波器的图标和面板

3. 6. 2　双通道示波器的使用

Multisim 11 提供的虚拟双通道示波器与实际的双通道示波器外观和基本操作基本相同，用它可以观察一路或两路信号波形的形状，分析被测信号的频率和幅值。双通道示波器的图标上有 6 个连接端：A 通道输入和接地、A 通道输入和接地、Ext Trig 外触发端和接地。双通道示波器的面板布置按功能不同分为 6 个区：时基设置、触发方式设置、A 通道设置、B 通道设置、测试数据显示及波形显示。

（1） Timebase 区：用来设置 X 轴方向时间基线扫描时间。

Scale：选择 X 轴方向每一个刻度代表的时间。单击该栏后将出现刻度翻转列表，根据所测信号频率的高低，上下翻转选择适当的值。

X position：表示 X 轴方向时间基线的起始位置，修改其设置可使时间基线左右移动。

Y/T：表示 Y 轴方向显示 A、B 通道的输入信号，X 轴方向显示时间基线，并按设置时间进行扫描。

B/A：表示将 A 通道信号作为 X 轴扫描信号，将 B 通道信号施加在 Y 轴上。

A/B：与 B/A 相反。以上这两种方式可用于观察李莎育图形。

Add：表示 X 轴按设置时间进行扫描，而 Y 轴方向显示 A、B 通道的输入信号之和。

（2） Channel A 区：用来设置 Y 轴方向 A 通道输入信号的标度。

Scale：表示 Y 轴方向对 A 通道输入信号而言每格所表示的电压数值。单击该栏后将出现刻度翻转列表，根据所测信号电压的大小，上下翻转选择一个适当的值。

Y position：表示时间基线在显示屏幕中的上下位置。当其值大于零时，时间基线在屏幕中线上侧，反之在下侧。

AC：表示屏幕仅显示输入信号中的交变分量（相当于通过隔直流电容输入）。

DC：表示屏幕将信号的交直流分量全部显示。

0：表示将输入信号对地短路。

（3） Channel B 区：用来设置 Y 轴方向 B 通道输入信号的标度。其设置与 Channel A 区相同。

（4） Trigger 区：用来设置示波器触发方式。

Edge：表示将输入信号的上升沿或下跳沿作为触发信号。

Level：用于选择触发电平的大小。

Sing.：选择单脉冲触发。

Nor.：选择一般脉冲触发。

Auto：表示触发信号不依赖外部信号。一般情况下使用 Auto 方式。

A 或 B：表示用 A 通道或 B 通道的输入信号作为同步 X 轴时基扫描的触发信号。

Ext：用示波器图标上外触发端子 T 连接的信号作为触发信号来同步 X 轴时基扫描。

（5） 波形显示区：示波器面板上部的窗口用来显示被测试的波形。

信号波形的颜色可以通过设置 A、B 通道连接导线的颜色来改变。方法是快速双击连接导线，在弹出的对话框中设置导线颜色即可。

屏幕背景颜色可通过单击展开面板右下方的 Reverse 按钮，即可改变屏幕背景的颜色。如要将屏幕背景恢复为原色，再次单击 Reverse 按钮即可。

移动波形：在动态显示时，单击仿真开关的暂停按钮或按 F6 键，均可通过改变 X position 设置，从而左右移动波形；利用指针拖动显示屏幕下沿的滚动条也可左右移动波形。

测量波形参数：在屏幕上有两条左右可以移动的读数指针，指针上方有三角形标志。通过拖动鼠标器左键可拖动读数指针左右移动。为了测量方便准确，单击暂停按钮（或 F6 键）使波形“冻结”，然后再测量更好。

（6） 测量数据的显示区：用来显示读数指针测量的数据。

在显示屏幕下方有 3 个测量数据的显示区，左侧数据区表示 1 号读数指针所测信号波形的数据。T1 表示 1 号读数指针离开屏幕最左端（时基线零点）所对应的时间，时间单位取决于 Timebase 所设置的时间单位；Channel _ A、Channel _ B 分别表示 1 号读数指针测得的通道 A、通道 B 的信号幅度值，其值为电路中测量点的实际值，与 X、Y 轴的 Scale 设置值无关。

中间数据区表示 2 号读数指针所在位置测得的数值。T2 表示 2 号读数指针离开时基线零点的时间值。Channel _ A、Channel _ B 分别表示 2 号读数指针测得的通道 A、通道 B 的信号幅度值。

右侧数据区中，T2 – T1 表示 2 号读数指针所在位置与 1 号读数指针所在位置的时间差值，可用来测量信号的周期、脉冲信号的宽度、上升时间及下降时间等参数。

存储读数：对于读数指针测量的数据，单击展开面板右下方 Save 按钮即可将其存储。数据存储格式为 ASCII 码格式。

3.6.3　应用实例

例 1　观察李莎育图形的电路，如图 3-14 所示。

如选择示波器面板 Timebase 区中的 B/A 按钮，即以 B 通道为横轴，A 通道为纵轴，在示波器上即可显示李莎育图形，如图 3-15 所示。

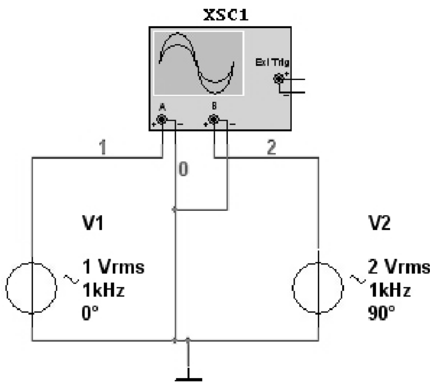


图 3-14　观察李莎育图形的电路

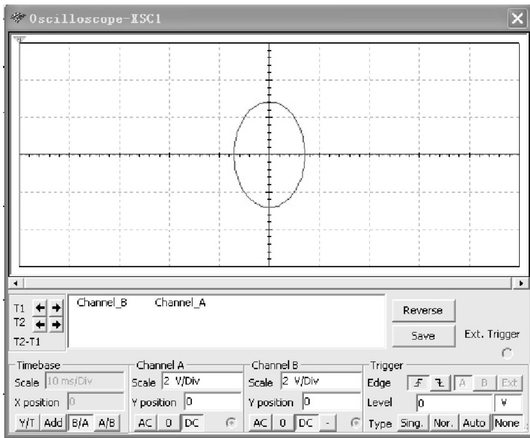


图 3-15　李莎育图形

例 2　对图 3-16 所示的单管放大电路进行仿真，其信号发生器设置如图 3-17 所示，仿真结果在示波器上显示的图形如图 3-18 所示。

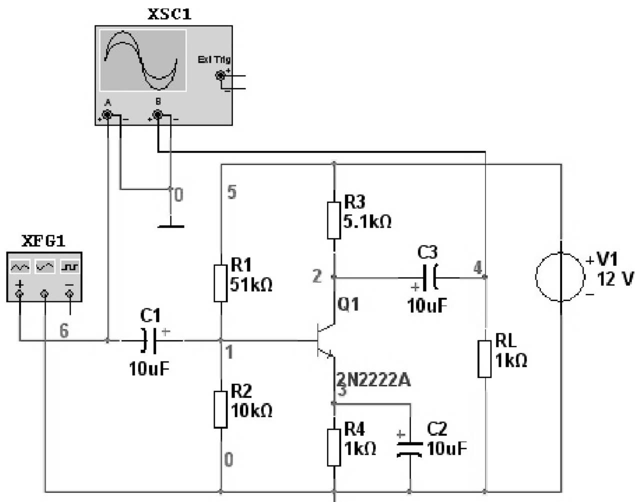


图 3-16　单管放大电路

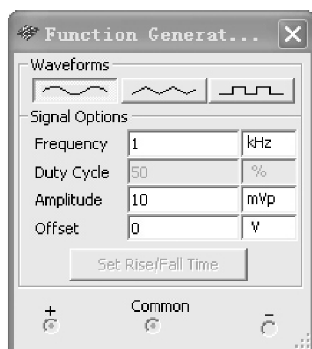


图 3-17　信号发生器设置

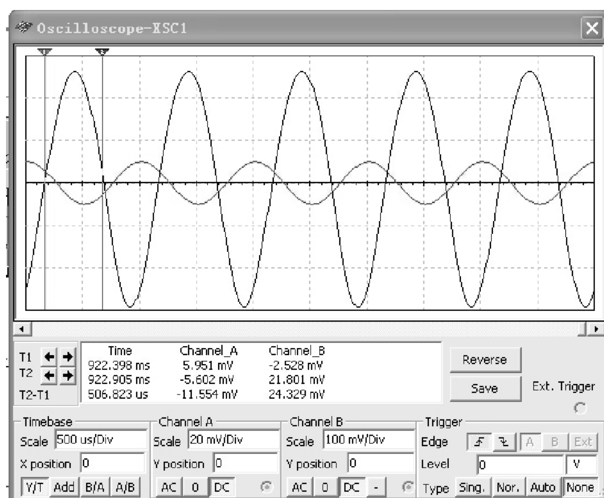
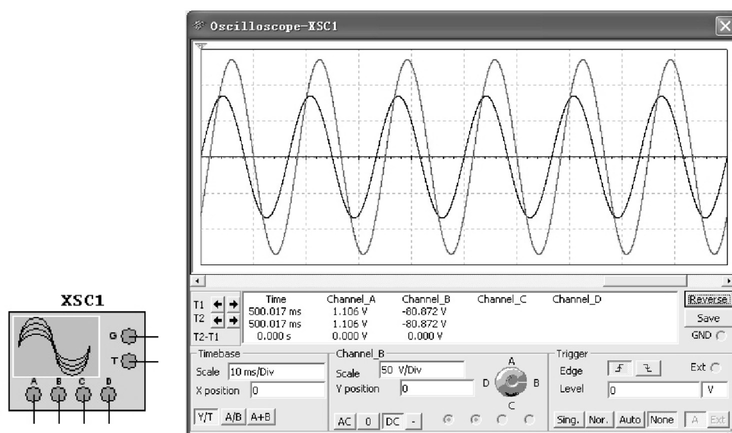


图 3-18　仿真结果在示波器上显示的图形

3.6.4　Channel Oscilloscope（四通道示波器）

四通道示波器的图标和面板如图 3-19 所示。



a) 四通道示波器的图标　　　　b) 四通道示波器的面板

图 3-19　四通道示波器的图标和面板

四通道示波器与双通道示波器的使用方法和参数调整方式完全一样，只是多了个通道控制旋钮，如图 3-20 所示。

当通道控制旋钮拨到某个通道位置，才能对该通道的 Y 轴进行调整。具体使用方法和设置参考双通道示波器的介绍，这里不再赘述。



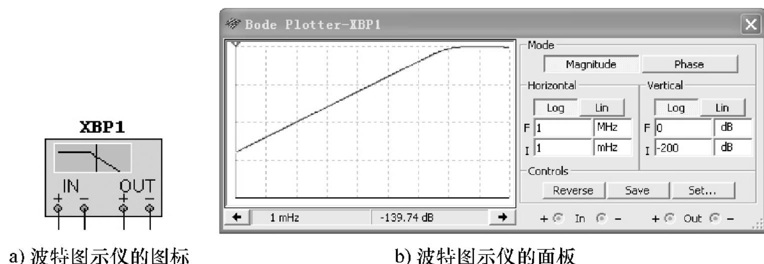
图 3-20　通道控制旋钮

3.7　波特图示仪

3.7.1　波特图示仪的图标和面板

Multisim 11 提供的波特图示仪的图标如图 3-21a 所示，双击工作区中的波特图示仪图

标，出现波特图示仪的面板，如图 3-21b 所示。



a) 波特图示仪的图标　　b) 波特图示仪的面板

图 3-21　波特图示仪的图标和面板

波特图示仪的图标包括着 4 个接线端，左边 IN 是输入端口，其 + 、 - 分别与电路输入端的正负端子相接；右边 OUT 是输出端口，其 + 、 - 分别与电路输出端的正负端子连接。

波特图示仪的面板按钮功能及其操作如下：

Magnitude：显示屏里展示幅频特性曲线。

Phase：显示屏里展示相频特性曲线。

Save：以 BOD 格式保存测量结果。

Set...：设置扫描的分辨率，单击该按钮后，屏幕出现如图 3-22 所示的对话框。

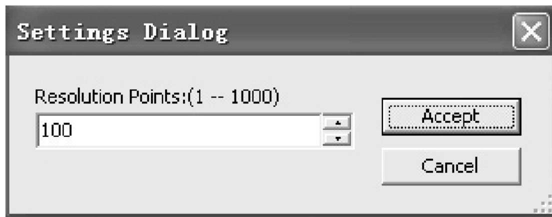


图 3-22　分辨率设置对话框

在 Resolution Points 栏中选定扫描的分辨率，数值越大读数精度越高，但将增加运行时间，默认值是 100。

（1） Vertical 区：设定 Y 轴的刻度类型。

测量幅频特性时，若单击 Log（对数）按钮后，Y 轴刻度的单位是 dB（分贝），标尺刻度为 20LogA（f）dB，其中 A（f） = Vo（f）/Vi（f）；当单击 Lin（线性）按钮后，Y 轴是线性刻度。一般情况下采用线性刻度。

测量相频特性时，Y 轴坐标表示相位，单位是度，刻度是线性的。

该区下面的 F 栏用来设置最终值，而 I 栏则用来设置初始值。

需要指出的是：若被测电路是无源网络（谐振电路除外），由于 A（f）的最大值为 1，所以 Y 轴坐标的最终值设置为 0dB，初始值设为负值。对于含有放大环节的网络（电路），A（f）值可大于 1，最终值设为正值（ + dB）为宜。

（2） Horizontal 区：确定波特图示仪显示的 X 轴频率范围。

选择 Log，则标尺用 Logf 表示；若选用 Lin，即坐标标尺是线性的。当测量信号的频率范围较宽时，用 Log 标尺为宜，I 和 F 分别是 Inital（初始值）和 Final（最终值）的缩写。

（3） 测量读数：利用鼠标拖动（或单击读数指针移动按钮）读数指针，可测量某个频

率点处的幅值或相位，其读数在面板右下方显示。

3.7.2 连接使用

使用时将波特图示仪图标 IN 输入端口的+、-分别与电路输入端的正负端子相接；OUT 输出端口的+、-分别与电路输出端的正负端子连接。由于波特图示仪本身没有信号源，所以在使用波特图示仪时，必须在电路的输入端口示意性地接入一个交流信号源（或函数信号发生器），且无需对其参数进行设置。

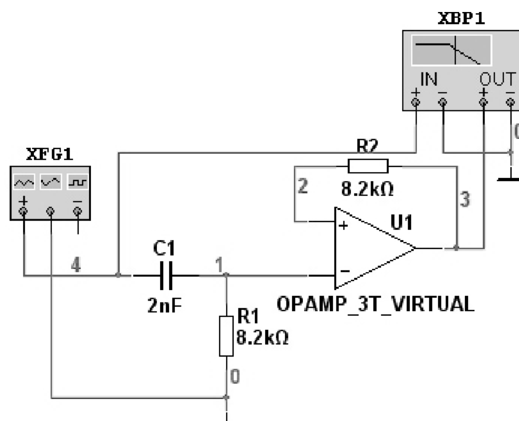


图 3-23 高通滤波器的测试电路

图 3-23 所示为高通滤波器的测试电路，图 3-24 所示为波特图示仪测试的电路幅频特性，图 3-25 所示为波特图示仪测试的电路相频特性。

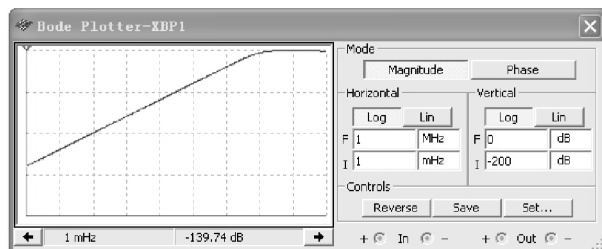


图 3-24 波特图示仪测试的电路幅频特性

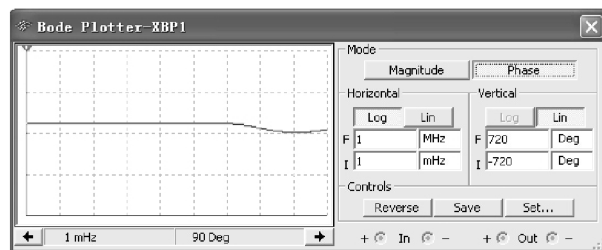
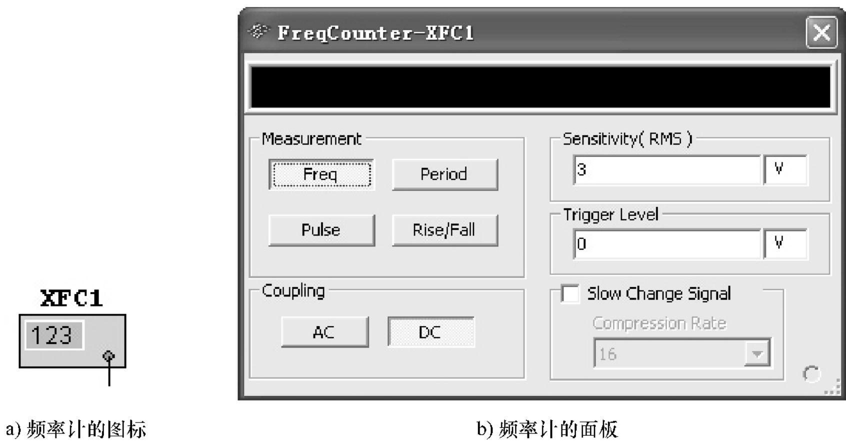


图 3-25 波特图示仪测试的电路相频特性

3.8 频率计

3.8.1 频率计的图标和面板

Multisim 11 提供的频率计的图标如图 3-26a 所示，双击工作区中的频率计图标，出现频率计的面板如图 3-26b 所示。



a) 频率计的图标　　b) 频率计的面板

图 3-26　频率计的图标和面板

3.8.2　连接使用

频率计主要用来测量信号的频率、周期、相位，脉冲信号的上升沿和下降沿。频率计的图标只有一个输入端，用来连接电路的输出信号。

使用过程中应注意根据输入信号的幅值调整频率计的 Sensitivity（灵敏度）和 Trigger Level（触发电平）。例如，用频率计测量函数发生器信号频率时，频率计的面板设置如图 3-27所示。选择 Trigger Level（触发电平）注意：输入信号必须大于触发电平才能进行测量，测量结果与函数发生器的输出频率一致。

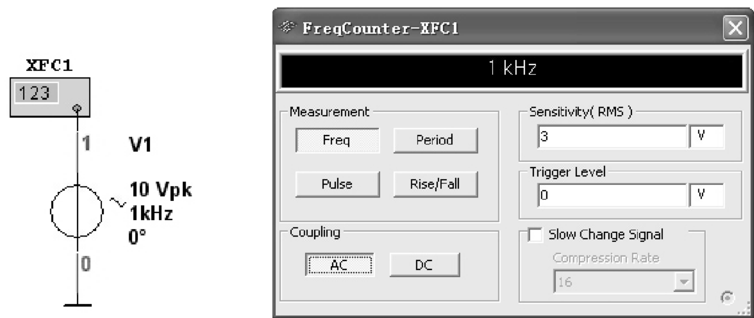


图 3-27　频率计测试电路及结果

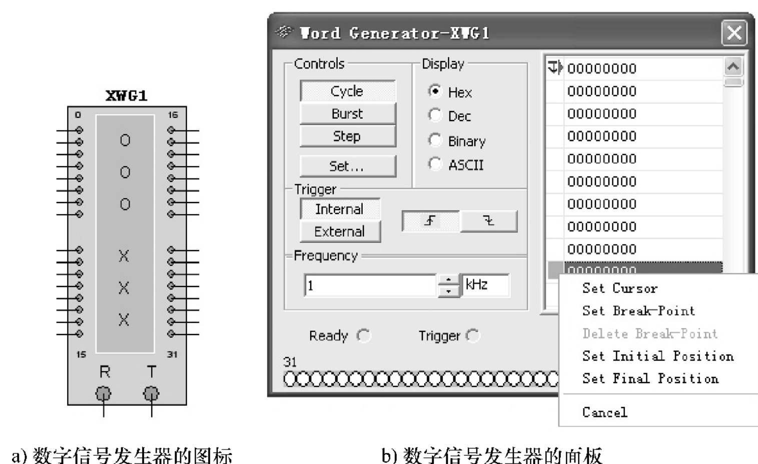
3.9　数字信号发生器

数字信号发生器（Word Generator）是一种能够产生 32 路（位）同步逻辑信号的仪器，可用来对数字逻辑电路进行测试。

3.9.1　数字信号发生器的图标和面板

数字信号发生器的图标如图 3-28a 所示，双击工作区中的数字信号发生器的图标，就会打开数字信号发生器的面板，如图 3-28b 所示。

从图 3-28a 可以看出，数字信号发生器图标上共有 32 个端子，其中左边有 0 ~ 15 共 16



a) 数字信号发生器的图标　　b) 数字信号发生器的面板

图 3-28　数字信号发生器的图标和面板

个端子，右边有 16 ~31 也是 16 个端子，这 32 个端子是该数字信号发生器所产生的信号输出端，其中的每一个端子都可接入数字电路的输入端。下面还有 R 及 T 两个端子，R 为数字信号准备好标志端，T 为外触发信号端。

从图 3-28b 可以看出，数字信号发生器的面板共分 5 个部分，分别为：Controls（控制方式）、Display（显示方式）、Trigger（触发）、Frequency（频率）和数字信号编辑显示区。

3.9.2　数字信号发生器使用设置

（1）数字信号编辑显示区：面板的最右侧是数字信号编辑区，32 位的数字信号以 8 位十六进制形式进行编辑和存放。可写入的十六进制数从 00000000 到 FFFFFFFF（相当于十进制数从 0 ~4 294 967 265）。若要求编辑区内的显示内容上下移动，利用鼠标器移动滚动条即可实现；用鼠标器单击某一条数字信号即可实现对其定位和写入（或改写），选中某一条数字信号并单击右键，可以在弹出的控制字输出的菜单中对该数字信号进行设置，如图 3-28 所示。

1）Set Cursor：设置数字信号发生器开始输出数字信号的起点。

2）Set Break – Point：在当前位置设置一个中断点。

3）Delete Break – Point：删除当前位置设置的一个中断点。

4）Set Initial Position：在当前位置设置一个循环数字信号的初始值。

5）Set Final Position：在当前位置设置一个循环数字信号的终止值。

当数字信号发生器发送数字信号时，输出的每一位值都会在数字信号发生器面板的底部显示出来。

（2）Controls 区：选择数字信号发生器的输出方式，其中包括 5 个选择按钮：

1）Cycle（循环）：表示数字信号在设置地址初值到最终值之间周而复始地以设定频率输出。

2）Burst（单帧）：表示数字信号从设置地址初值逐条输出，直到最终值时自动停止。

3）Step（单步）：表示每单击鼠标一次输出一条数字信号。

4）Set（设置）：单击此按钮，弹出如图 3-29 所示的 Settings 对话框，主要用于设置和保存信号变化的规律，或调用以前数字信号变化规律的文件。

对话框各选项的具体功能简述如下：

a. Pre－set Patterns 区

· No Change：不变。

· Load：调用以前设置数字信号的文件。

· Save：保存所设置数字信号的文件。

· Clear buffer：清除数字信号缓冲区的内容。

· Up Counter：数字信号缓冲区的内容按逐个“+1”递增方式进行编码。

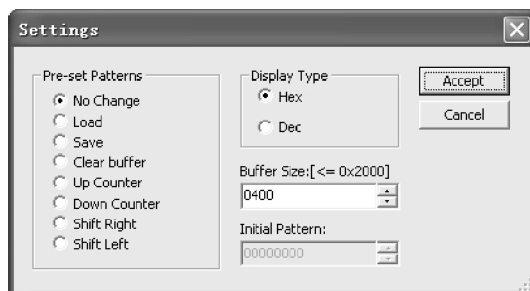


图 3-29　Setting 对话框

· Down Counter：数字信号缓冲区的内容按逐个“－1”递减方式进行编码。

· Shift Right：数字信号缓冲区的内容按右移方式编码。

· Shift Left：数字信号缓冲区的内容按左移方式编码。

b. Display Type 区：Display Type 区用于选择输出数字信号的格式是十六进制（Hex）还是十进制（Dec）。

c. 地址选项区：在 Buffer Size 条形框内可以设置缓冲区的大小。在 Initial Pattern 条形框内可以设置 Up Counter、Down Counter、Shift Right 和 Shift Left 模式的初始值。

（3）Display 区

· Hex：数字信号缓冲区内的数字信号以十六进制显示。

· Dec：数字信号缓冲区内的数字信号以十进制显示。

· Binary：数字信号缓冲区内的数字信号以二进制显示。

· ASCII：数字信号缓冲区内的数字信号以 ASCII 进制显示。

（4）Trigger 区：Trigger 区用于选择触发方式。

1）Internal：选择内部触发方式，数字信号的输出直接受输出方式按钮 Step、Burst 和 Cycle 的控制。

2）External：选择外部触发方式，必须接入外触发脉冲信号，而且要设置“上升沿触发”或“下降沿触发”，然后单击输出方式按钮。只有外触发脉冲信号到来时才启动信号输出。

（5）Frequency 区：Frequency 区用来设置输出数字信号的频率。

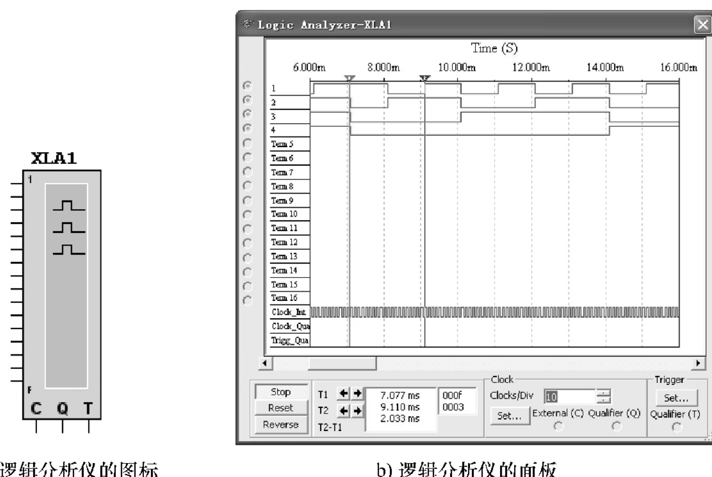
3.10　逻辑分析仪

逻辑分析仪（Logic Analyzer）可以同步记录和显示 16 路逻辑信号，可用于对数字逻辑信号的高速采集和时序分析。

3.10.1　逻辑分析仪的图标和面板

逻辑分析仪的图标如图 3-30a 所示，双击工作区中的逻辑分析仪的图标，就会打开逻辑分析仪的面板，如图 3-30b 所示。

逻辑分析仪图标左侧从上至下 16 个端子是逻辑分析仪的输入信号端子，使用时连接到



a) 逻辑分析仪的图标　　　　b) 逻辑分析仪的面板

图 3-30　逻辑分析仪的图标和面板

电路的测量点。图标下部的 3 个端子分别是：C：外时钟输入端，Q：时钟控制输入端，T：触发控制输入端。

逻辑分析仪面板最左侧 16 个小圆圈代表 16 个输入端，如果某个连接端接有被测信号，则该小圆圈内出现一个黑圆点。被采集的 16 路输入信号以方波形式显示在屏幕上。当改变输入信号连接导线的颜色时，显示波形的颜色立即改变。

逻辑分析仪面板分上下两个部分，上半部分是显示窗口，下半部分是控制区。控制信号有 Stop（停止）、Reset（复位）、Reverse（反相显示）、Clock（时钟设置）、Trigger（设置触发方式）。

3.10.2　逻辑分析仪的设置

使用逻辑分析仪时注意对面板下部有关参数的设置：

（1）读数指针数值显示区：移动读数指针上部的三角形可以读取波形的逻辑数据。其中 T1 和 T2 分别表示读数指针 1 和读数指针 2 相对于时间基线零点的时间，T2 – T1 表示两读数指针之间的时间差。

（2）Clock 区：利用 Clock/Div 条形框可以设置在显示屏上每个水平刻度显示的时钟脉冲数。单击 Set... 按钮，设置时钟脉冲，按该按钮后出现如图 3-31 所示的对话框。

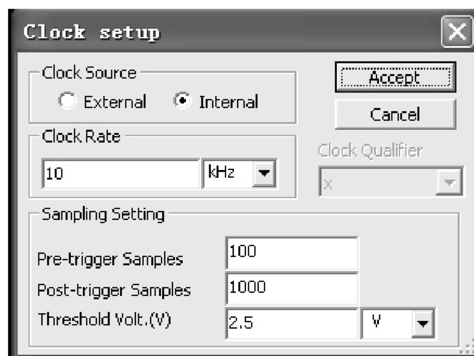


图 3-31　设置时钟脉冲对话框

其中，Clock Source 区的功能是选择时钟脉冲的来源，如果选取 External 项，则设置由外部取得时钟脉冲；选取 Internal 项，则设置由内部取得时钟脉冲。Clock Rate 区的功能是选取时钟脉冲的频率。Sampling Setting 区的功能是设置取样方式，其中的 Pre – trigger Samples 栏设置前沿触发取样数，Post – trigger Samples 栏设定后沿触发取样数，Threshold Voltage（V）栏设定门限电压。

（3）Trigger 区：Trigger 区是用来设置触发方式，单击 Set... 按钮，出现如图 3-32 所示的对话框。

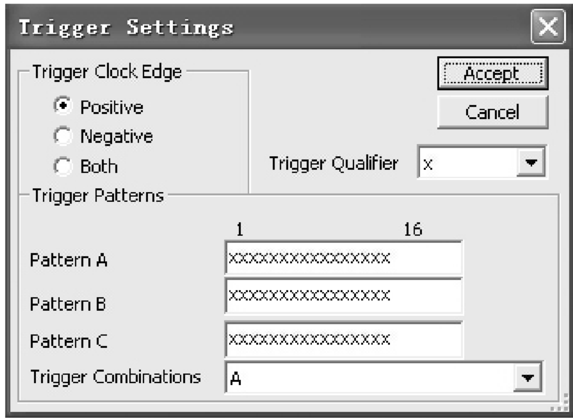


图 3-32　设置触发方式对话框

其中：Trigger Clock Edge 区的功能是设定触发方式，包括 Positive（上升沿触发）、Negative（下降沿触发）及 Both（升、降沿触发）等 3 个选项；Trigger Qualifier 栏的功能是选择触发限定字，包括 0、1 及 X（0、1 皆可）等 3 个选项。Trigger Patterns 区的功能是设置触发的样本，我们可以在 Pattern A、Pattern B 及 Pattern C 栏中设定触发字，每个触发字有 16 位，触发字的某一位设置为“X”时表示该位为任意（即 0、1 均可），三个触发字的默认值均为“XXXXXXXXXXXXXXXX”，即表示只要第一个输入逻辑信号到达，逻辑分析仪均被触发开始波形采集。也可以在 Trigger Combinations 栏中选择组合的触发方式，共有 21 种触发组合方法供选择。

Trigger Qualifier（触发电平控制）项对触发有控制作用，如果设置为 X，则触发控制端不论高低电平都能产生触发控制。如果该位设置为 1 或 0，则仅当触发控制端输入信号为 0 或 1 相匹配时，触发控制端才起作用。

逻辑分析仪在阅读了指定字或字的组合的基础上才可能触发，当所有项目选定以后，单击 Accept 按钮即可。

3.10.3　应用实例

如图 3-33 所示数字信号发生器产生 0000H ~ 000FH 的字信号（图中设置为采用递增编码，末地址设置为 000FH），输出频率为 1kHz，选择循环输出方式，数字信号发生器的低 4 位分别接入“8421”码数码管的四个引脚，用来显示输出的数字。为观测数字信号发生器输出的波形，逻辑分析仪的低 4 位分别与之相接。数字信号发生器的面板设置如图 3-34所示。启动电路后，数码管循环显示 0 ~ F，逻辑分析仪显示各个位的波形，如图 3-35 所示。

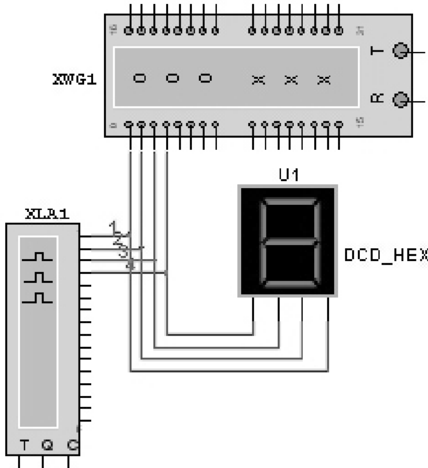


图 3-33　数字信号发生器输出信号显示电路

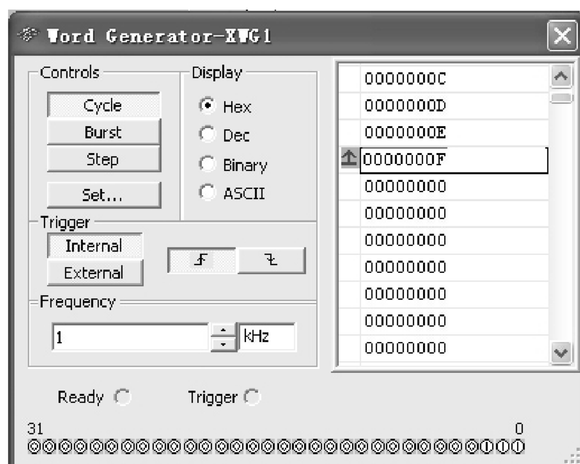


图 3-34　数字信号发生器的面板设置

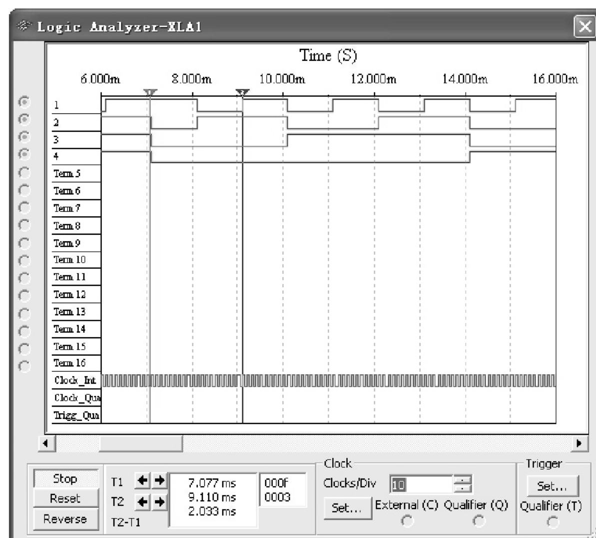


图 3-35　逻辑分析仪面板设置及显示的波形

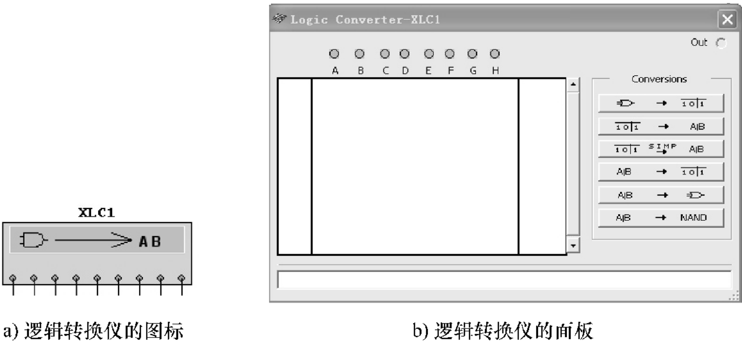
3.11　逻辑转换仪

Multisim 11 提供的逻辑转换仪，可由逻辑电路导出真值表或逻辑表达式；或者输入逻辑表达式就会建立相应的逻辑电路。

3.11.1　逻辑转换仪的图标和面板

逻辑转换仪的图标如图 3-36a 所示，双击工作区中的逻辑转换仪的图标，弹出如图 3-36b所示的逻辑转换仪的面板。

在逻辑转换仪图标的下方，有 8 位输入端和一个输出端。



a) 逻辑转换仪的图标　　b) 逻辑转换仪的面板

图 3-36　逻辑转换仪的图标和面板

逻辑转换仪的面板上除了输入输出端外，还有真值表区、逻辑表达式区和转换方式选择区等。单击逻辑转换仪面板的输入端便可在下边的窗口中显示出各个输入信号的逻辑组合（1 或 0）。在面板的右边转换方式选择区（Conversions）排列着 6 个转换按钮，其意义如表 3-1 所示。

表 3-1　转换方式选择区的 6 个转换按钮

转换按钮	功能意义
→ 1 0|1	逻辑电路→真值表转换按钮
1 0|1 → A|B	真值表→表达式转换按钮
1 0|1 SIMP A|B	真值表→简化表达式转换按钮
A|B → 1 0|1	表达式→真值表转换按钮
A|B →	表达式→逻辑电路转换按钮
A|B → NAND	表达式→与非门转换按钮

3.11.2　逻辑转换仪的使用

1. 逻辑电路转换为真值表

1）画出逻辑电路。

2）逻辑转换仪的输入端连接到电路的输入端。

3）电路的信号输出端连接到逻辑转换仪的输出端。

4）按下 → 1 0|1 按钮，电路的真值表就会在逻辑转换仪上显示出来。

图 3-37 所示为逻辑转换仪和两个与门及一个或非门相互连接的电路，连接完毕后，单击 → 1 0|1 按钮即可得到相应的真值表，如图 3-38 所示。

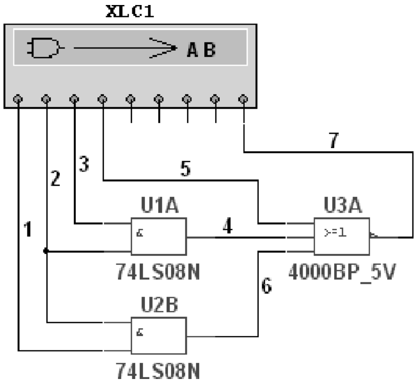


图 3-37　逻辑电路

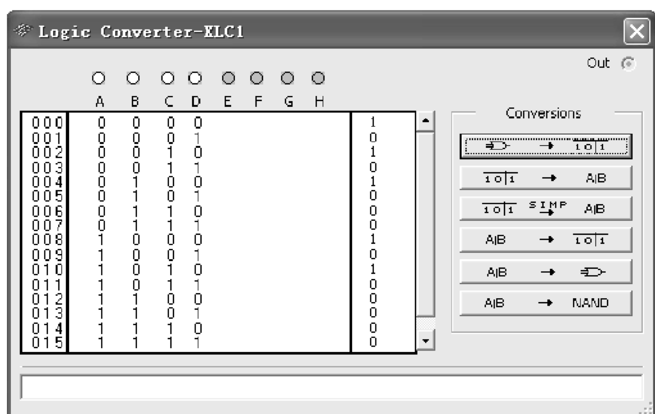


图 3-38　由电路转换为真值表

2. 真值表转换为表达式

1）根据输入信号的个数，单击逻辑转换仪顶部输入端的小圆圈，选定输入信号（A 到 H）。

2）真值表中自动出现输入信号的所有组合，而真值表区输出初始值全部为 0。

3）根据逻辑关系修改真值表的输出值。

4）单击 10|1 → A|B 按钮，在面板底部逻辑表达式栏出现相应的逻辑表达式。

将图 3-34 真值表转换为表达式会在面板底部显示，如图 3-39 所示。

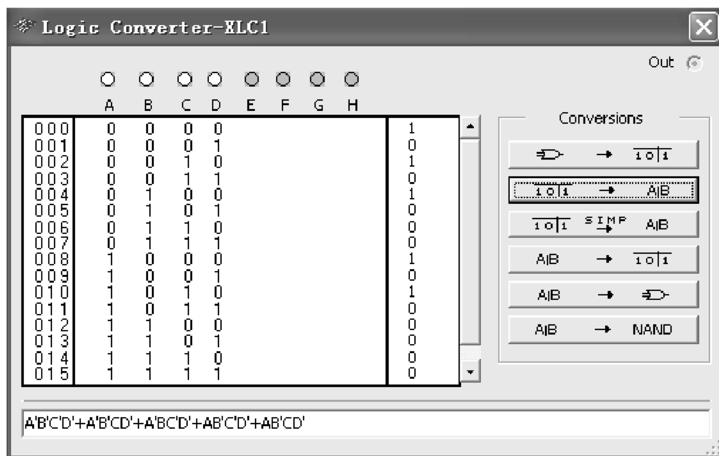


图 3-39　真值表转换为表达式

3. 真值表转换为简化表达式

前三步的操作同真值表转换为表达式，只是最后一步为：单击 10|1 SIMP→ A|B 按钮，在面板底部逻辑表达式栏出现简化的逻辑表达式，如图 3-40 所示，表达式中的“′”表示逻辑变量“非”。

4. 逻辑表达式转换真值表

在逻辑表达式栏键入用“与－非”式或“或－非”式表示的逻辑表达式。注意：如果是逻辑“非”，例如：$\overline{A}$ 则应写成 A′，$\overline{A+B}$则应首先逻辑转换为$\overline{A}\,\overline{B}$，输入 A′B′，然后单击

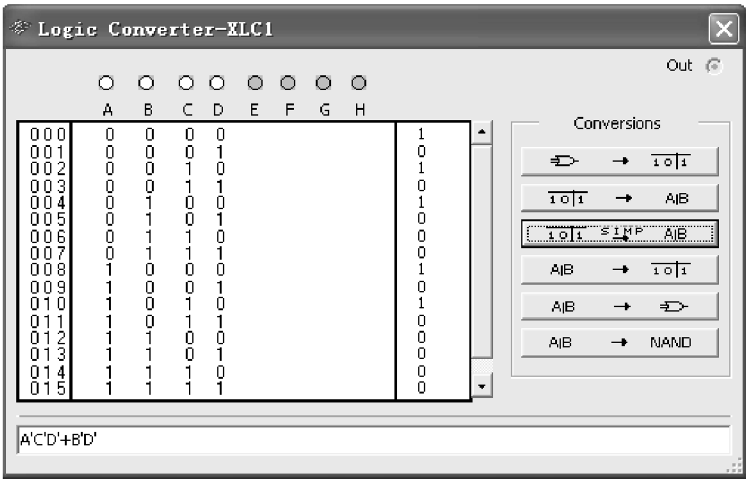


图 3-40　真值表转换为简化表达式

A|B → 1 0|1 按钮，即可得到相应的真值表。

5. 逻辑表达式转换为逻辑电路

在逻辑表达式栏键入逻辑表达式。单击 A|B → 按钮，即可在工作区得到与、或、非门组成的逻辑电路。

6. 逻辑表达式转换为与非门电路

在逻辑表达式栏键入逻辑表达式。单击 A|B → NAND 按钮，即可在工作区得到由与非门组成的电路。

3.12　伏安特性分析仪

3.12.1　伏安特性分析仪的图标和面板

伏安特性分析仪（IV Analyzer）简称为 IV 分析仪，专门用来测量二极管、晶体管、PMOS 管和 NMOS 管的伏安特性曲线。IV 分析仪相当于实验室的晶体管图示仪，需要将晶体管与建接电路完全断开，才能进行 IV 分析议的连接和测试。如图 3-41 所示是 IV 分析仪的图标和面板。



a) IV分析仪的图标　　b) IV分析仪的面板

图 3-41　IV 分析仪的图标和面板

图 3-41 所示 IV 分析仪的图标有 3 个连接点，实现与晶体管的连接。对于二极管的测量用左边两个端子。IV 分析仪的左侧是伏安特性曲线显示窗口；右侧是功能选择及参数设置区域。

3.12.2　伏安特性分析仪的设置

IV 分析仪面板参数设置如下：

1. 选择元器件类型

单击 Components 下拉菜单，选择所测元器件类型，分别是 Diode（二极管）、BJT NPN（NPN 晶体管）、BJT PNP（PNP 晶体管）、PMOS（P 沟道 MOS 场效应晶体管）和 NMOS（N 沟道 MOS 场效应晶体管），选择好元器件类型后在面板右下方会出现所选元器件类型对应的提示连接方式。

2. 显示参数设置

（1）“Current range”用以设置电流显示范围。F（电流终止值），I（电流初始值）。可在对话框输入参数或单击该卡调整电流范围，有对数坐标和线性坐标两种显示方式。

（2）“Voltage Range”用以设置电压显示范围。F（电压终止值），I（电压初始值）。可在对话框输入参数或单击该卡调整电压范围，有对数坐标和线性坐标两种显示方式。

3. 扫描参数设置

单击 Simulate Param. 按钮，将弹出元器件参数设置对话框。

（1）二极管参数设置：若二极管为测量元器件，则单击 Simulate Param. 按钮，弹出如图 3-42所示的二极管参数设置对话框，只有“V _ pn”（PN 结电压）一栏设置，包括 PN 结极间扫描的起始电压（Start）、终止电压（Stop）和扫描增量（Increment）。

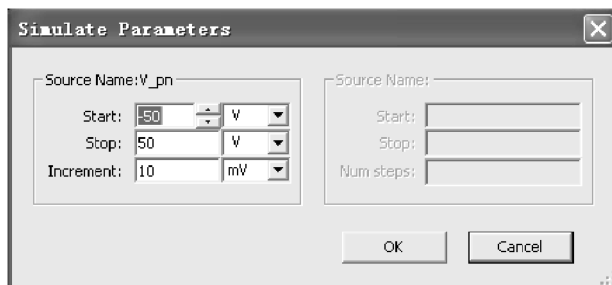


图 3-42　二极管参数设置对话框

（2）晶体管参数设置：若晶体管为测量元件，则单击 Simulate Param. 按钮，弹出如图3-43所示的参数设置对话框，包括两项：

1）“V _ ce”栏用于设置晶体管 C、E 极间扫描的起始电压（Start）、终止电压（Stop）和扫描增量（Increment）。

2）“I _ b”一栏用于设置晶体管基极电流极间扫描的起始电流（Start）、终止电流（Stop）和步长。

（3）MOS 管对应参数设置：若 MOS 管为测量元件，则单击 Simulate Param. 按钮，弹出如图 3-44 所示的参数设置对话框，包括两项：

1）“V _ ds”一栏用于设置 MOS 管 D、S 极间扫描的起始电压（Start）、终止电压

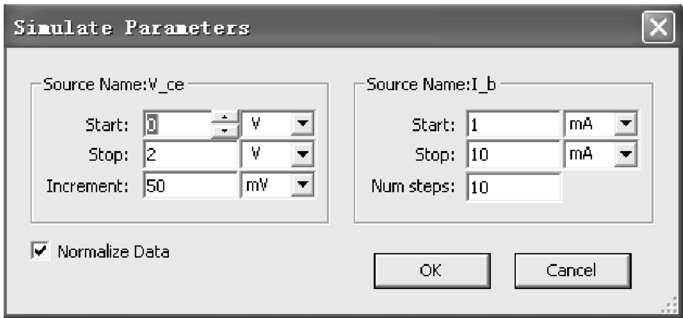


图 3-43　晶体管参数设置对话框

（Stop） 和扫描增量 （Increment）。

2）“V _ gs”“栏用于设置 MOS 管 G、S 极间扫描的起始电压（Start）、终止电压 （Stop） 和步长。

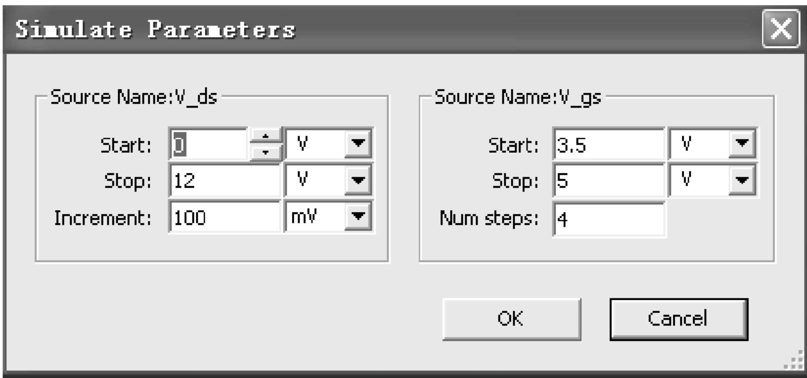
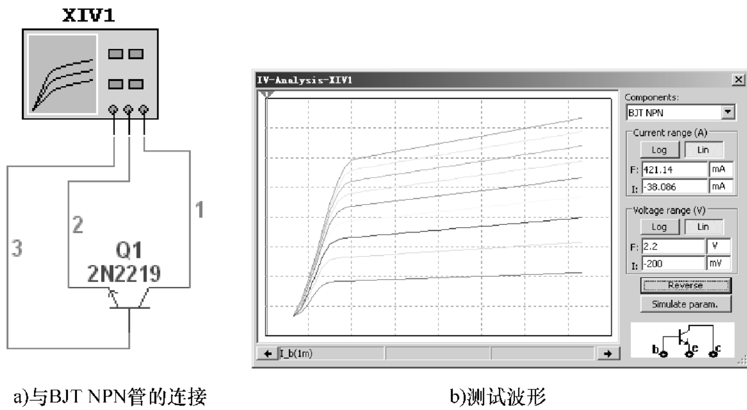


图 3-44　MOS 管参数设置对话框

应用举例：测 BJT NPN 管伏安特性。

按图 3-45a 将 1V 分析仪 3 个端子与 BJT NPN 管对应电极相接，单击 Components 下拉选项，选择测量的元件类型为 BJT NPN，测试波形如图 3-45b 所示，利用游标可以读取每点数据并显示在分析仪面板下部的测量显示区域。



a)与BJT NPN管的连接　　　　b)测试波形

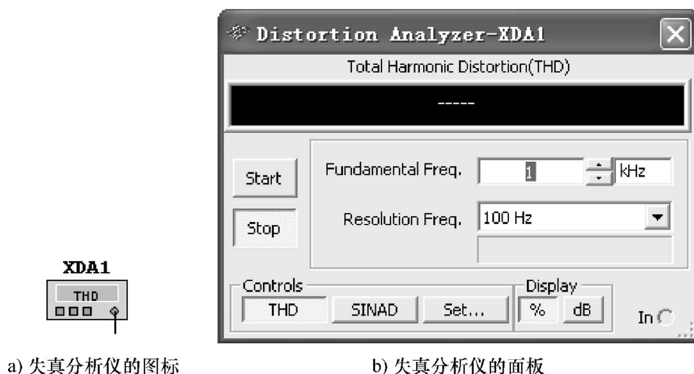
图 3-45　测 BJT NPN 管伏安特性

3.13　失真分析仪

失真分析仪（Distortion Analyzer）是一种测试电路总谐波失真与信噪比的仪器，在用户所指定的基准频率下，进行电路总谐波失真或信噪比的测量。

3.13.1　失真分析仪的图标和面板

失真分析仪的图标如图 3-46a 所示，双击工作区中的失真分析仪的图标，弹出如图 3-46b 所示的失真分析仪的面板。



a) 失真分析仪的图标　　　　b) 失真分析仪的面板

图 3-46　失真分析仪的图标和面板

3.13.2　失真分析仪的使用与设置

失真分析仪图标中仅有一个端子（Input）用来连接电路的输出信号。

失真分析仪面板包括以下内容：

（1）Total Harmonic Distortion（THD）栏的功能是显示总谐波失真的值。

（2）Display 区　单击 Display Mode 区中的 % 按钮或 dB 按钮可以选择“Total Harmonic Distortion（THD）”栏的值是用百分比表示，或是用分贝数表示。

（3）Fundamental Freq. 栏的功能是设置基频。

（4）Controls 区：按钮 THD 的功能是选取测试总谐波失真。按钮 SINAD 的功能是选取测试信号信噪比，即 S/N。按钮 Set... 的功能是设置测试的参数，单击该按钮后屏幕出现如图 3-47 所示的对话框。

THD Definition 区用来选择总谐波失真的定义方式，包括 IEEE 及 ANSI/IEC 两种定义方式。Harmonic Num. 栏选取谐波次数。FFT Points 栏选取 FFT 变换的点数，为 1024 的整数倍。

（5）测试控制按钮 Start 按钮的功能是开始测试；Stop 按钮的功能是停止测试。

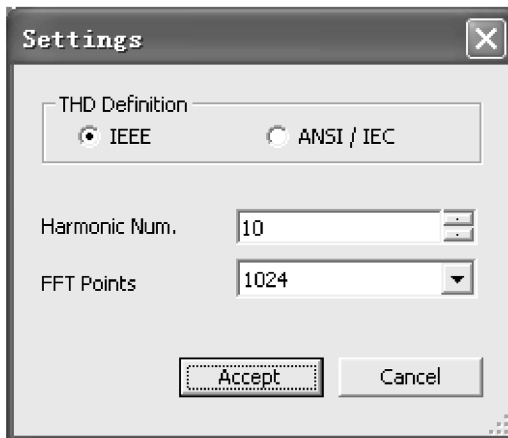


图 3-47　设置测试参数对话框

当电路的仿真开关打开后，Start按钮会自动按下，一般要经过一段时间计算后方可显示稳定的数值，这时再单击Stop按钮，读取测试结果。

3.14　频谱分析仪

频谱分析仪（Spectrum Analyzer）主要用于测量信号所包含的频率及频率所对应的幅度。频谱测量对广播通信及通信领域具有重要的意义。

3.14.1　频谱分析仪的图标和面板

频谱分析仪的图标如图 3-48a 所示，双击工作区中的频谱分析仪的图标，弹出的频谱分析仪的面板如图 3-48b 所示。



a) 频谱分析仪的图标　　b) 频谱分析仪的面板

图 3-48　频谱分析仪的图标和面板

3.14.2　频谱分析仪的使用与设置

由图 3-48a 可见，频谱分析仪的图标上有两个端子，IN 是输入端子，用来连接电路的输出信号；T 是外触发信号输入端。

在频谱分析仪的面板上可进行各种设置并显示相应的频率特性曲线。下面对其面板的各项做简要说明。

（1）Span Control 区：选择显示频率变动范围的方式，有 3 个按钮：Set Span是指采用 Frequency 区所设置的频率范围；Zero Span是采用 Center（中心）定义的一个单一频率，当按下该按钮后，Frequency 区的 4 个栏中仅 Center 可以设置某一频率，仿真结果是以该频率为中心曲线；Full Span 指全频范围，即从 0 ~ 4GHz，程序自动给定，Frequency 区不起作用。

（2）Frequency 区：设置频率范围，其中包括 4 个栏：

Span 用来设置频率变化范围，Start 用来设置开始频率，Center End 用来设置结束频率。

（3）Amplitude 区：选择频谱纵坐标的刻度，有 3 个选项：

1）dB（分贝）：表示以分贝数即 20logl0（V）为刻度，这里 logl0 是以 10 为底的对数，V 是信号的幅度。当这个选项选中时，信号将以 dB/Div 的形式在频谱分析仪的右下脚被显示。

2）dBm：表示纵轴以 10logl0（V/0. 775）为刻度。0dBm 是当通过 600Ω 电阻上的电压为 0. 775V 时在电阻上的功耗，这个功率等于 1mW。如果一个信号是 +10dBm，那么意味着

它的功率是10mW。当使用这个选项时，以 0dBm 为基础显示信号的功率。在终端电阻是600Ω 的应用场合，诸如电话线，直接读 dBm 数会很方便，因为它直接与功率损耗成比例。我们用 dB 时，为了找到在电阻上的功率损耗，需要考虑电阻值。而用 dBm 时，电阻值已经考虑在内。

3）Lin（线性）：表示纵轴以线性刻度来显示。

Range 栏：用以设置频谱分析仪右边频谱显示窗口纵向每格代表的幅值多少。

Ref. 栏：用以设置参考标准。所谓参考标准就是确定被显示在窗口中的信号频谱的某一幅值所对应的频率范围大小。由于频谱分析仪的轴没有标明单位和值，通常需用滑块来读取显示在频谱分析仪右侧频谱显示窗口中的每一点的频率和幅度。当滑块放置在感兴趣的点上时，此点的频率和幅度以 V、dB 或 dBm 的形式显示在分析仪的右下角部分。如果读取的不是一个频率点，而是要确定某个频率范围。比如想知道什么时候某些频率成分的幅度在一个限定值之上（该限定值必需以 dB 或 dBm 形式表示）。如取限定值为 -3dB，读取通过 -3dB点的位置所对应的频率，则可估计出放大器的带宽。

（4） Resolution Freq. 区：设定频率的分辨率。

（5） 频谱分析仪的下部有 5 个按钮，用以控制其运行：单击 Start 按钮开始分析；单击 Stop 按钮停止分析；单击 Reverse 按钮使波形显示区的背景颜色反色；单击 Show Refer . 按钮显示参考值；单击 Set... 按钮将弹出 Settings 对话框，如图 3-49 所示。

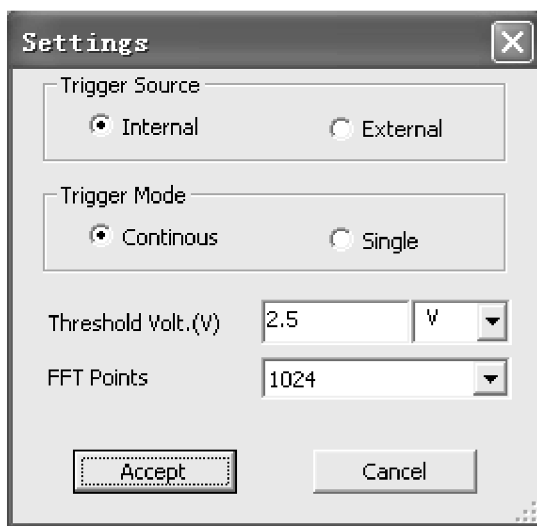


图 3-49　Setting 对话框

Settings 对话框的内容说明如下：

在 Trigger Source 区里指定触发源，包括 Internal 选项（内部触发）及 External 选项（外部触发）。

在 Trigger Mode 区里指定触发模式，包括 Continous 选项（连续触发）及 Single 选项（单一触发）。

Threshold Volt. 栏：设置触发开启电压。

FFT Points 栏：选择分析点数，应为 1024 整数倍。

例　用频谱分析仪，分析图 3-50 所示的时钟信号的频谱，频谱分析仪面板上的各项设置和仿真的结果如图 3-51 所示。

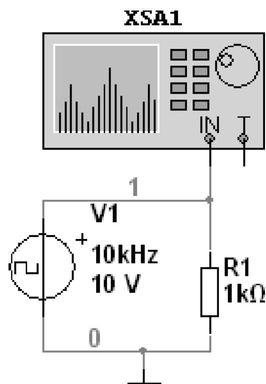


图 3-50　时钟信号的频谱分析电路

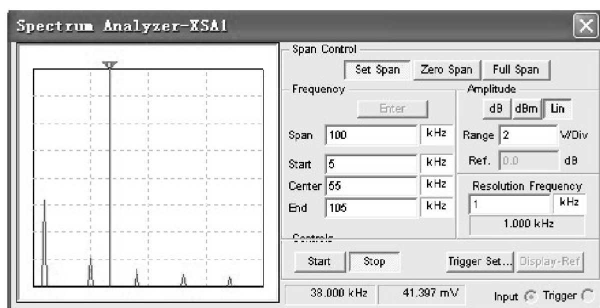


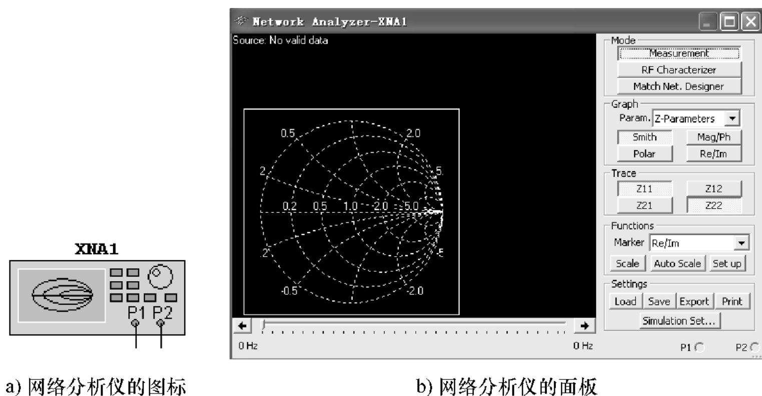
图 3-51　频谱分析仪显示的仿真结果

3.15　网络分析仪

Multisim 11 中的网络分析仪（Network Analyzer）是仿效现实仪器 HP8751A 和 HP8753E 基本功能和操作的一种虚拟仪器。现实中的网络分析器是一种测试双端口高频电路的 S 参数（Scattering parameters）的仪器，而 Multisim 11 的网络分析仪除了可用于测量 S 参数外，也可用于测量 H、Y、Z 参数。它是高频电路中最常使用的仪器之一。

3.15.1　网络分析仪的图标和面板

网络分析仪的图标如图 3-52a 所示，双击工作区中的网络分析仪的图标，弹出的网络分析仪的面板如图 3-52b 所示。



a) 网络分析仪的图标　　　b) 网络分析仪的面板

图 3-52　网络分析仪的图标和面板

3.15.2　网络分析仪的使用操作

1. 连接

网络分析仪图标中有两个端子，分别用来连接电路的输入端口及输出端口。图 3-53 所

示的就是测试电路连接网络分析仪的一个实例。图 3-54 所示为网络分析仪的测试结果。

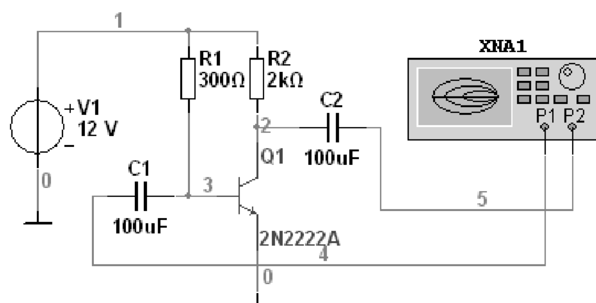


图 3-53　测试电路连接网络分析仪

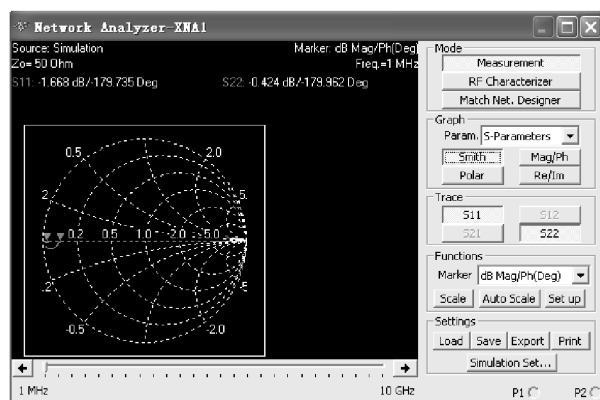


图 3-54　网络分析仪的测试结果

2. 面板的设置

使用时应对网络分析仪面板有关项进行设置，现将面板的各项说明如下：

（1） Mode 区：该区用于选择分析模式，包括 3 个选项：Measurement 为测量模式，Match Net. Designer 为高频电路的设计工具，RF Characterizer 为射频电路特性分析工具。

（2） Graph 区

1） Param：该选项可以选择要分析的参数，包括 S、H、Y、Z 参数和 Stability factor（稳定因子）。

2）有 4 个按钮可供选择显示模式：Smith（史密斯格式）、Mag/Ph（幅度/相位的频率响应图，即波特图）、Polar（极化图）、Re/Im（实部 / 虚部）。这 4 种显示模式的刻度参数可以通过单击 Scale 按钮设置；程序自动调整刻度参数可通过单击 Auto Scale 按钮设置；显示窗口的显示参数如线宽颜色等，可通过单击 Set up 按钮设置。

（3） Trace 区：该区选择所要显示的参数，只要按下需要显示的参数按钮即可，这些按钮和 Param 选项中选择的显示参数对应。

（4） Functions 区

1） Marker 栏：选择显示窗口数据显示的模式。包括 3 个选项：

① Re/Im（实部/虚部）：以直角坐标模式显示参数。

② Mag/Ph（Degs）（幅度/相位）：以极坐标模式显示参数。

③ dBMag/Ph（Degs）（dB 数/相位）：选项设定以分贝的极坐标模式显示参数。

2）其他按钮

① Scale：选择纵轴刻度。

② Auto Scale：由程序自动调整刻度。

③ Set up：选择显示窗口数据显示的模式，单击该按钮后，将出现如图 3-55 所示的 Preferences 对话框。

该对话框有 3 个标签项：

a. Trace 标签：如图 3-55 所示，用来设置曲线的属性。在 Trace#栏内选择所要显示的参数曲线，在 Line width 栏内选取曲线线宽，在 Color 栏内指定曲线的颜色，而在 Style 栏内选择该曲线的样式。

b. Grids 标签：设置网格的属性，其对话框如图 3-56 所示。

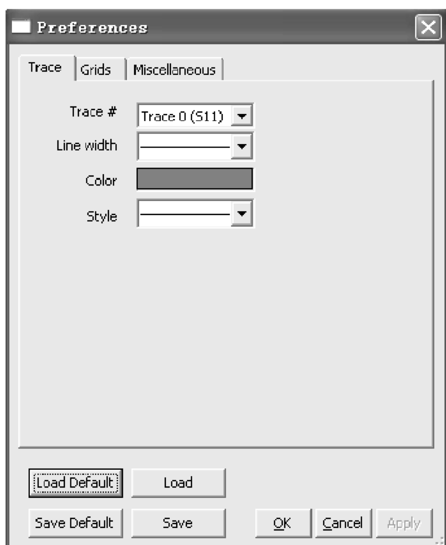


图 3-55　Preferences 对话框

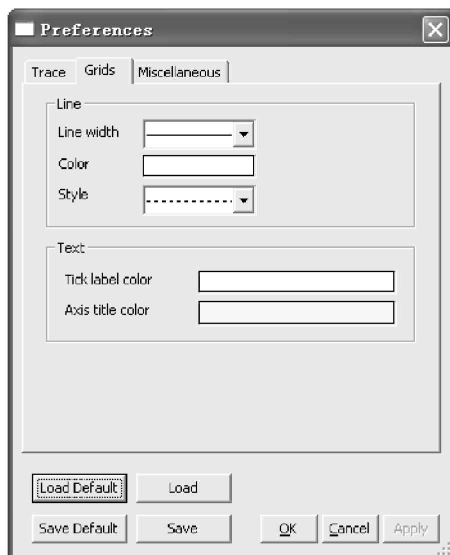


图 3-56　设置网格属性对话框

可以在 Line width 栏内选取网格线的线宽，在 Color 栏内指定网格线的颜色，在 Style 栏内指定网格线的样式，在 Tick label color 栏内指定刻度文字的颜色，在 Axis title color 栏内指定刻度轴标题文字的颜色。

c. Miscellaneous 标签：设置绘图区域和文本的属性，如图 3-57 所示。

可以在 Frame width 栏内指定图框的线宽，在 Frame color 栏内指定图框的颜色，在 Background color 栏内指定背景颜色，在 Graph area color 栏内指定绘图区的颜色，在 Label color 栏内指定标注文字的颜色，在 Data color 栏内指定数据文字的颜色。

（5）Settings 区：该区提供数据管理功能，共有 5 个按钮：Load 为加载数据；Save 为保存资料；Export 为输出资料；Print 为打印资料；Simulation Set…是设置待分析的参数，在不同的分析模式下，将会有不同的参数需要设置，以测量模式为例，单击此按钮，将出现如图 3-58 所示的 Measurement Setup 对话框。

该对话框中，Start frequency 栏设置激励信号的起始频率，Stop frequency 栏设置激励信

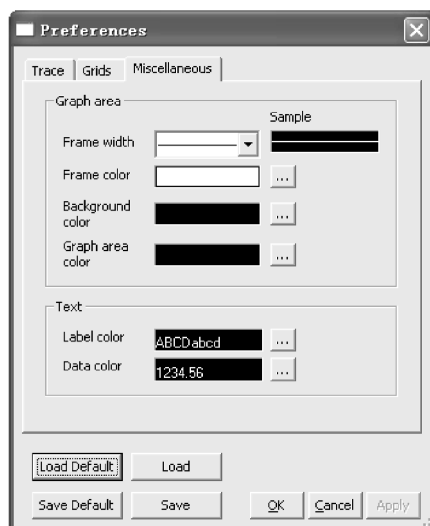


图 3-57　设置绘图区域和文本的属性

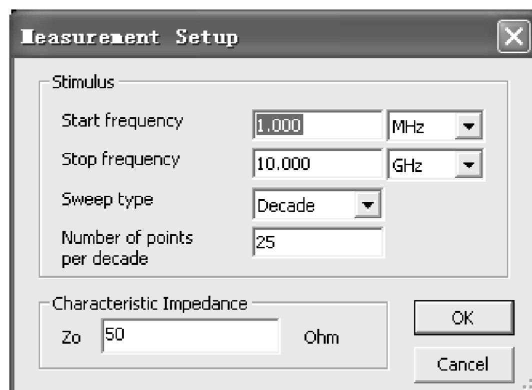


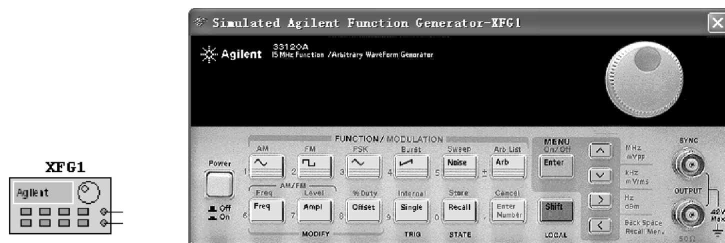
图 3-58　Measurement Setup 对话框

号的终止频率，Sweep type 栏设置扫描的方式，Number of points per decade 设置每 10 倍频率取样点数，Characteristic Impedance 栏设置阻抗特性。

3.16　安捷伦函数信号发生器

3.16.1　安捷伦函数信号发生器的图标和面板

Multisim 11 仿真软件提供的 Agilent 33120A 是安捷伦公司生产的一种宽频带、多用途、高性能的函数信号发生器，它不仅能产生正弦波、方波、三角波、锯齿波、噪声源和直流电压 6 种标准波形，而且还能产生按指数下降的波形、按指数上升的波形、负斜波函数、Sa（x）及 Cardiac（心律波）5 种系统存储的特殊波形和由 8 ~ 256 点描述的任意波形。Agilent 33120A 的图标和面板如图 3-59 所示，图标包括两个端口，其中上面 SYNC 端口是同步方式输出端，下面 OUTPUT 端口是普通信号输出端。



a) Agilent 33120A的图标　　b)Agilent 33120A的面板

图 3-59　Agilent 33120A 的图标和面板

3.16.2　Agilent 33120A 面板上按钮的主要功能

（1）Power：电源开关按钮，单击它接通电源，再次单击它则切断电源。

（2）Shift 和 Enter Number：Shift 是换挡按钮，同时单击 Shift 按钮和其他功能按钮，执行的是该功能按钮上方的功能。

Enter Number 按钮是输入数字按钮。若单击 Enter Number 按钮后，再单击面板上的相关数字按钮，即可输入数字。若单击 Shift 按钮后，再单击 Enter Number 按钮，则取消前一次操作。

（3）输出信号类型选择按钮：面板上 FUNCTION/MODULATION 的线框下的 6 个按钮是输出信号类型选择按钮，单击某个按钮选择相应的波形输出，自左向右分别为正弦波按钮、方波按钮、三角波按钮、锯齿波按钮、噪声源按钮。单击 Arb 按钮选择由 8～2 5 6 点描述的任意波形。若单击 Shift 按钮后，再分别单击正弦波按钮、方波按钮、三角波按钮、锯齿波按钮、Noise（噪声源）按钮或 Arb 按钮，分别选择 AM 信号、FM 信号、FSK 信号、Burst 信号、Sweep 信号或 Arb List 信号。若单击 Enter Number 按钮后，再分别单击正弦波按钮、方波按钮、三角波按钮、锯齿波按钮、Noise（噪声源）按钮和 Arb 按钮，分别选择数字 1、2、3、4、5 和 ± 极性。

（4）频率和幅度按钮：面板上的 AM/FM 线框下的两个按钮分别用于 AM/FM 信号参数的调整。单击 Frep 按钮，调整信号的频率，单击 Ampl 按钮，调整信号的幅度；若单击 Shift 按钮后，再分别单击 Frep 按钮、Ampl 按钮，则分别调整 AM、FM 信号的调制频率和调制度。

（5）菜单操作按钮：单击 Shift 按钮后，再单击 Enter 按钮，就可以对相应的菜单进行操作，若单击∨按钮则进入下一级菜单，若单击∧按钮则返回上一级菜单，若单击>按钮则在同一级菜单右移，若单击<按钮则在同一级菜单左移。若选择改变测量单位，单击∨按钮选择测量单位递减，单击∧按钮选择测量单位递增。

（6）偏置设置按钮：Offset 按钮为 Agilent 33120A 信号源的偏置设置按钮。单击 Offset 按钮，则调整信号源的偏置；若单击 Shift 按钮后，再单击 Offset 按钮，则改变信号源的占空比。

（7）触发模式选择按钮：Single 按钮是触发模式选择按钮。单击 Single 按钮，选择单次触发；若先单击 Shift 按钮，再单击 Single 按钮，则选择内部触发。

（8）状态选择按钮：Recall 按钮是状态选择按钮。单击 Recall 按钮，选择上一次存储的状态；若单击 Shift 按钮后，再单击 Recall 按钮，则选择存储状态。

（9）输入旋钮、外同步输入和信号输出端：显示屏右侧的圆形旋钮是信号源的输入旋钮，旋转输入旋钮可改变输出信号的数值。该旋钮下方的插座分别为外同步输入端和信号输出端。

3.16.3　Agilent 33120A 产生的标准波形

Agilent 33120A 函数发生器能产生正弦波、方波、三角波、锯齿波、噪声源和直流电压 6 种标准波形。下由举例说明几种常用信号的产生，并用示波器观察输出的信号，电路连接如图 3-60 所示。

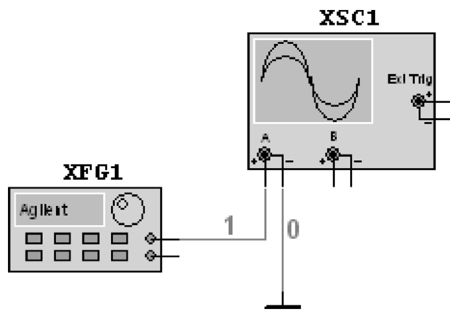


图 3-60　用示波器观察 Agilent 33120A 输出的信号

（1）正弦波：单击正弦波按钮，选择输出的信号为正弦波。信号频率的调整方法是单击 Freq

按钮，通过输入旋钮选择频率的大小；或直接单击 Enter Number 按钮后，输入频率的数字，再单击 Enter 按钮确定；或单击[∧]或[∨]按钮逐步增减数值，直到达到所需频率数值为止。信号幅度的调整方法：单击 Ampl 按钮，直接单击 Enter Number 按钮后，输入幅度的数字，再单击 Enter 按钮确定；或单击[∧]或[∨]按钮逐步增减数值。信号偏置的调整方法：单击 Offet 按钮，通过输入旋钮选择偏置的大小；或直接单击 Enter Number 按钮后，输入偏置的数值，再单击 Enter 按钮确定；或单击[∧]或[∨]按钮逐步增减偏置值。另外，先单击 Enter Number 按钮，再单击[∧]按钮，可显示峰峰值。先单击 Enter Number 按钮，然后单击[∨]按钮，可实现将峰峰值转换为有效值。先单击 Enter Number 按钮，然后单击[>]按钮，可实现将峰峰值转换为分贝值。

（2）方波、三角波和锯齿波：分别单击方波按钮、三角波按钮或锯齿波按钮，Agilent 33120A 函数发生器能产生方波、三角波或锯齿波。设置方法和正弦波的设置类似，只是对于方波，单击 Shift 按钮后，再单击 Offset 按钮，通过输入旋钮可以改变方波的占空比。

（3）噪声源：单击 Noise 按钮，Agilent 33120A 函数发生器输出一个模拟的噪声。其幅度可以通过单击 Ampl 按钮调节，调节输入旋钮改变大小，使输出幅度为 100mV，Offset 输入偏置数值为 0，噪声源的波形如图 3-61 所示。

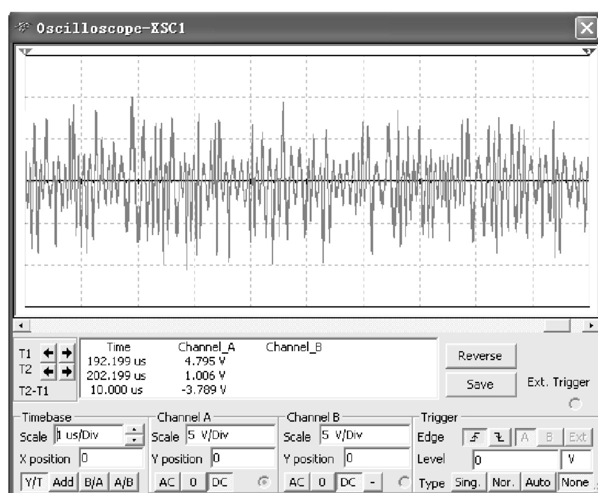


图 3-61　噪声源的波形

（4）直流电压：Agilent 33120A 函数发生器能产生一个直流电压，范围是 －5 ~ ＋5V。单击 Offset 按钮不放，持续时间超过 2s，显示屏先显示 DCV 后变成 ＋0. 000 VDC；通过输入旋钮可以改变输入电压的大小。

（5）AM（调幅）和 FM（调频）信号：单击 Shift 按钮后，再单击正弦波按钮选择 AM 信号。单击 Freq 按钮，通过输入旋钮可以调整载波的频率；单击 Ampl 按钮，通过输入旋钮可以调整载波的幅度；单击 Shift 按钮后再单击 Freq 按钮，通过输入旋钮可以调整调制信号的频率；单击 Shift 按钮后，再单击 Ampl 按钮，通过输入旋钮可以调整调制信号的调幅度。此外，还可以选择其他波形作为调制信号，改变调制信号的操作步骤为单击 Shift 按钮，再单击正弦波按钮选择 AM 方式；然再单击 Shift 按钮，再单击 Enter 按钮进行菜单操作，显示屏显示 Menus 后立即显示“A：MOD Menu”，单击[∨]按钮，显示屏显示“COMMANDS”后

立即显示“AM SHAPE”，再单击[v]按钮，显示屏显示“PAMAMETER”后立即显示“Sine”；单击[>]按钮选择调制信号类型。设置完成后，单击 Enter 按钮保存设置。

若调整 Agiient33120A 函数发生器，使其输出 AM 信号，载波的幅度设置为 10Vpp，频率为 5kHz，调制信号为正弦波，其频率为 1kHz，所产生的 AM 信号如图 3-62 所示。

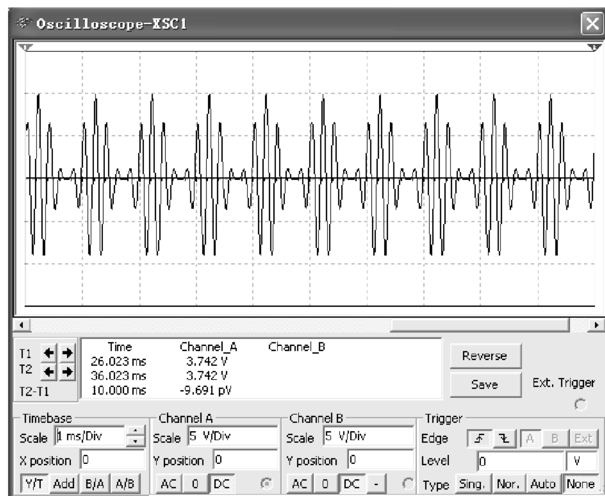


图 3-62　调制信号为正弦波时 AM 信号

用 Agilent33120A 产生特殊函数波形：Agilent33120A 函数发生器能产生 5 种内置的特殊函数波形，即 sinc 函数、负斜波函数、按指数上升的波形、按指数下降的波形及 Cardiac 函数（心律波函数）。举例说明几种特殊函数波形如下。

（1）sinc 函数：sinc 函数是一种常用的 Sa 函数，其数学表达式为 sinc(x) = sin(x)/X。sinc 函数的产生步骤如下：

1）单击 Shift 按钮，再单击 Arb 按钮，显示屏显示“SINC ~”。

2）单击 Arb 按钮，显示屏显示 $\mathrm{S1N}^{\mathrm{Arb}}$，选择 sinc 函数。

3）单击 Freq 按钮，通过输入旋钮将输出波形的频率设置为 30kHz；单击 Ampl 按钮，通过输入旋钮将输出波形的幅度设置为 5. 000V。

4）设置完毕，启动仿真开关，通过示波器观察波形。

（2）负斜波函数：产生负斜波函数信号的步骤如下：

1）单击 Shift 按钮后，再单击 Arb 按钮，显示屏显示“SINC ~”。

2）单击[>]按钮，选择“NEG RAMP”，单击 Enter 按钮保存设置函数的类型。

3）单击 Shift 按钮后，再单击 Arb 按钮，显示屏显示“NEG_ RAMP”，再单击 Arb 按钮，显示屏显示“$\mathrm{NEG_\ RAMP}^{\mathrm{Arb}}$”，Agilent33120A 函数发生器选择负斜波函数。

4）单击 Freq 按钮，通过输入旋钮设置输出波形的频率；单击 Ampl 按钮，通过输入旋钮设置输出波形的幅度；单击 Offset 按钮，通过输入旋钮设置波形的偏置。

设置完毕，启动仿真开关。通过示波器观察波形。

另外三种特殊函数（按指数上升函数、按指数下降函数和 Cardiac（心律波）函数）的产生方法，本书不再赘述。用户需要时，可参阅 Multisim 11 仿真软件的帮助文件。

3.17 安捷伦数字万用表

安捷伦数字万用表（Agilent Multimeter）是仿 Agilent 34401A 型虚拟仪器，具有 $6\frac{1}{2}$位高性能。它不仅具有传统的测试功能，如测试电阻、交/直流电压、交/直流电流、信号频率和周期，还具有一些高级功能，如数字运算功能、dB、dBm、界限测试和最大/最小/平均等功能。

3.17.1 安捷伦数字万用表的图标和面板

Agilent 34401A 的图标和面板如图 3-63 所示。Agilent 34401A 对外的连接端有 5 个，其中左侧上下两个端为 200V Max 一对，右侧上面的两个端为 1000V Max 一对，右侧下面的端子为电流接线端。



a)Agilent 34401A的图标　b)Agilent 34401A的面板

图 3-63　Agilent 34401A 的图标和面板

3.17.2 安捷伦数字万用表的使用

将安捷伦数字万用表连接到电路图中，然后用鼠标双击它，弹出面板。单击面板上的电源“Power”开关，数字万用表的显示屏变亮，表明数字万用表已处于工作状态，就可以完成相应的测试功能。单击图 3-63 中的 Shift 按钮后，再单击其他功能按钮时，执行面板按钮上方的功能。

（1）电压的测量：测电压时，34401A 数字万用表 2、4 端应与被测试电路的端点并联；单击面板上的 DC V 按钮，可以测量直流电压，在显示屏上显示的单位为 VDC；而单击 AC V 按钮，可以测量交流电压，在显示屏上显示的单位为 VAC。

（2）电流的测量：测电流时，应将图标中的 5、3 端串联到被测试的电路中。单击面板上的 Shift 按钮，则显示屏上显示“Shift”，若单击 DC V 按钮，显示屏上显示的单位为 ADC，即可测量直流电流；若单击 AC V 按钮，此时在显示屏上显示的单位为 AAC，即可测量交流电流。若被测量值超过该段测量量程时，面板显示 OVLD。

（3）电阻的测量：34401A 数字万用表提供二线测量法和四线测量法两种方法测量电阻。二线测量法和普通的万用表测量法方法相同，将 2 端和 4 端分别接在被测电阻的两端，同时 4 端也要连接地线。测量时，单击前面板上的 Ω2W 按钮，可测量电阻阻值的大小。四线测量法是为了更准确测量小电阻的方法，它能自动减小接触电阻，提高了测量精度，因此

测量准确度比二线测量法高。其方法是将 1 端和 2 端相连接，3 端和 4 端相连接，再并联在被测电阻的两端。测量时，先单击面板上的 Shift 按钮，显示屏上显示“Shift”，再单击面板上的 Ω2W 按钮，即为四线测量法的模式，此时显示屏上显示的单位为 ohm^{4W}，它为四线测量法的标志。

（4）频率或周期的测量：34401A 数字万用表可以测量电路的频率或周期。测量时，需将 34401A 的 2 端和 4 端分别接在被测电路的两端。测量时，若单击面板上的 Freq 按钮，可测量频率的大小。若单击面板上的 Shift 按钮，显示屏上显示“Shift”，然后再单击 Freq 按钮，则可测量周期的大小。

注意：测量交流信号的带宽为 3Hz～1. 99999MHz。

（5）二极管极性的判断：测量时，将 34401A 数字万用表的 1 端和 3 端分别接在元器件的两端，先单击面板上的 Shift 按钮，显示屏上显示“Shift”后，再单击“Cont”按钮，可测试二极管极性。若 34401A 数字万用表的 1 端接二极管的正极，3 端接二极管的负极时，则显示屏上显示二极管的正向导通压降。反之，34401A 的 3 端接二极管的正极，1 端接二极管的负极时，则显示屏上显示为 0ohm。若二极管断路时，显示屏显示 OPEN 字样，表明二极管是开路故障。

3. 17. 3　Agilent 34401A 量程的选择

Agilent 34401A 面板上的 ∨ 、∧ 和 Auto/Man 为量程选择按钮。通过 ∨ 、∧ 按钮改变测量的量程。当被测值超过所选择的量程时，面板显示 OVLD。Auto/Man 按钮是自动测量与人工测量转换按钮。选择人工测量模式时，不能自动改变量程范围，并且显示屏上显示 Man 标记。选择自动测量模式时，量程范围自动改变。

∨ 、∧ 和 Auto/Man 功能按钮与 Shif 按钮结合起来可以选择显示不同的位数。选择方法是：

1）单击面板上的 Shift 按钮，显示屏上显示“Shift”，再单击 ∧ 按钮，显示 4 $\frac{1}{2}$ 位；

2）单击面板上的 Shift 按钮，显示屏上显示“Shift”，再单击 ∧ 按钮，显示 5 $\frac{1}{2}$ 位；

3）单击面板上的 Shift 按钮，显示屏上显示“Shift”，再单击 ∧ 按钮，显示 6 $\frac{1}{2}$ 位，其中 $\frac{1}{2}$ 位是指在显示的最高位只能是“0”或“1”。

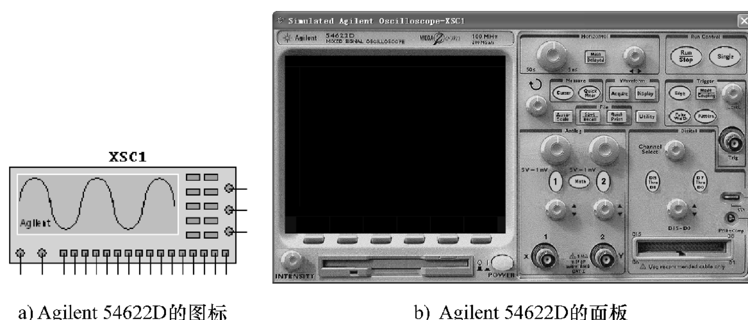
3. 18　安捷伦示波器

Multisim 11 仿真软件提供的安捷伦示波器（Agilent oscilloscope）是仿 AglIent 54622D 型虚拟仪器，其带宽为 100MHz，具有两个模拟通道和 16 个逻辑通道。

3. 18. 1　安捷伦示波器的图标和面板

Agilent 54622D 的图标和面板如图 3-64 所示。

图 3-64a 图标下方有两个模拟通道和 16 个逻辑通道的接线端，图标右侧有触发端、数字地和探头补偿输出端子。



a) Agilent 54622D的图标　　b) Agilent 54622D的面板

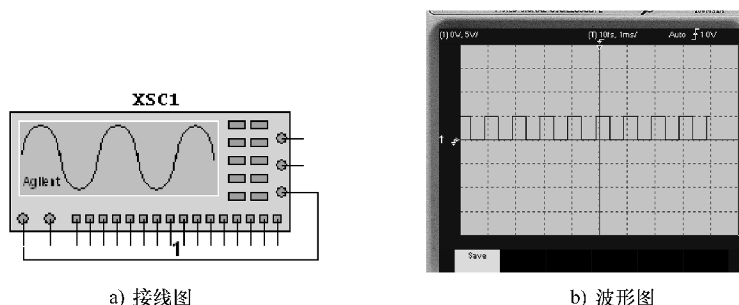
图 3-64　Agilent 54622D 的图标和面板

图 3-64b 所示 Agilent 54622D 的面板中，POWER 是电源开关，INTENSITY 是灰度调节旋钮，在电源开关和 INTENSITY 旋钮之间是软驱，软驱上面是设置参数的软按钮，软按钮上方是显示屏。Horizontol 区是时基调整区，Run Control 区是运行控制区，Trigger 区是触发区，Digital 区是数字通道的调整区，Measure 区是测量控制区，Waveform 区是波形调整区。

3.18.2　Agilent 54622D 的校正

1. 模拟通道的校正

模拟通道的校正可采取如图 3-65a 所示的连接，即将探头补偿输出端和模拟通道 1 端连接。单击面板中电源开关按钮开启示波器，单击面板上的按钮选择模拟通道 1 显示，单击面板上的按钮，将示波器设置为默认状态，最后单击面板上的按钮，此时在示波器显示屏上显示如图 3-65b 所示的波形。



a) 接线图　　b) 波形图

图 3-65　模拟通道的校正

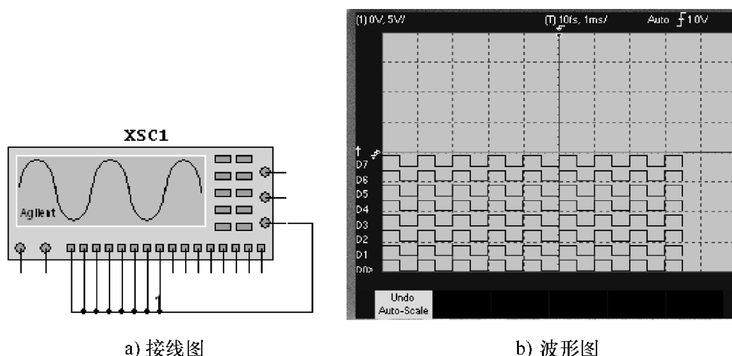
波形图显示这是一个峰峰值为 5V、周期为 1ms 的方波。

2. 数字通道的校正

将探头补偿输出端连接到数字通道 D0 ~ D7，如图 3-66a 所示，单击面板上的数字通道选择按钮，选择数字通道 D0 ~ D7，再单击面板上保存调用按钮，将示波器配置为默认状态，单击面板上的按钮，示波器显示的波形如图 3-66b 所示。这是一个峰峰值接近 2V，周期为 1ms 的方波。

3.18.3　Agilent 54622D 示波器的基本操作

使用 Agilent 54622D 示波器进行测量前，必须首先通过面板设置仪器，然后才能进行测



a) 接线图　　b) 波形图

图3-66　数字通道的校正

量并读取测量结果。

（1）模拟通道垂直位置调整：模拟通道垂直调整区是图3-64b所示的Analog区。

1）单击模拟通道1选择按钮，选择模拟通道1。模拟通道的耦合方式通过Coupling软按钮选样。耦合方式的3种选择是：DC（直接耦合）、AC（交流耦合）和GND（地）。

2）波形位置调整旋钮位于Analog区域中间位置，用来垂直移动信号。要把信号放在显示屏中央，应注意随着转动位置的调整，旋钮会短时显示电压值指示参考电平与屏幕中心的距离，还应注意屏幕左端的参考接地电平符号随位置旋钮的旋转而移动。单击Vemier软按钮，可微调波形的位置。单击Invert软按钮，可使波形反相。

3）通过幅度衰减旋钮改变垂直灵敏度，两个幅度衰减旋钮位于Analog区域上部。衰减旋钮设置的范围为1nV/格～50V/格。单击Vemier软按钮，可以较小的增量改变波形的幅度。

（2）数字通道的显示和重新排列：数字通道调整区是图3-64b所示的Digital区。

1）单击数字通道D15～D8选择按钮或数字通道D7～D0选择按钮，打开或关闭数字通道显示，当这些按钮被点亮时显示数字通道。

2）旋转数字通道选择旋钮，选择所要显示的数字通道，并在所选的通道号右侧显示。

3）旋转数字位置调整旋钮，在显示屏上能重新定位所选通道，如果在同一位置显示两个或多个通道，则弹出的菜单显示重叠的通道。继续旋转通道选择旋钮，直到在弹出菜单中选定所需通道。

4）先单击数字通道D15～D8选择按钮或数字通道D7～D0选择按钮，再单击下面的软按钮，使数字通道显示格式在全屏显示和半屏显示之间切换。

（3）时基调整区：时基调整区是图3-64b所示的Honzonol区。该区左侧是时间衰减旋钮，中间是主扫描/延迟扫描测试功能按钮，右侧是水平位置旋钮。

1）时间衰减旋钮旋转的时间单位为s/div，以1－2－5的步进序列在5ns/div～50s/div范围内变化，选择适当扫描速度，使测试波形能完整、清晰地显示在显示屏上。

2）水平位置旋钮，用于水平移动信号波形。

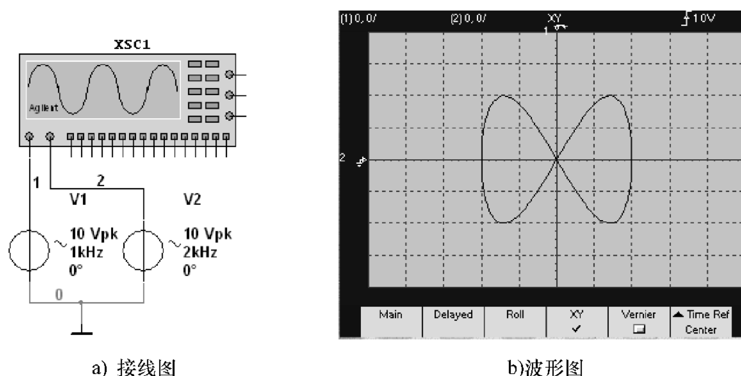
3）单击主扫描/延迟扫描测试功能按钮，再单击Man主扫描软按钮，可在显示屏上观察被测波形。单击Vemier（时间衰减微调）软按钮，通过时间衰减旋钮以较小的增量改变扫描速度，这些较小增量均经过校准，因而，即使在微调开启的情况下，也能得到准确的测

量结果。

4）单击主扫描 / 延迟扫描测试功能按钮，然后单击 Delayed（延迟）软按钮，在显示屏上观察测试波形的延迟显示。

（4）使用滚动模式：单击主扫描/延迟扫描按钮，然后单击 Roll（滚动）软按钮，选择滚动模式。滚动模式引起波形在屏幕上从右向左缓慢移动。它只能在 500ms/div 或更慢的时基设置下工作。如果当前时基设置超过 500ms/div 的限制值，在进入滚动模式时，将自动被设置为 500ms/div。

（5）使用 XY 模式：单击主扫描/延迟扫描按钮，然后单击 XY 软按钮，选择 XY 模式。XY 模式把显示屏从电压对时间显示变成电压对电压显示，此时时基被关闭，通道 1 的电压幅度绘制于 X 轴上，而通道 2 的电压幅度则绘制于 Y 轴上，XY 模式常用于比较两个信号的频率和相位关系。图 3-67 是用 XY 模式测量李莎育图形的电路和输出波形。



a) 接线图　　b)波形图

图 3-67　XY 模式测量李莎育图形

（6）连续运行与单次触发：运行控制包括连续运行（Run）和单次触发（Single）两种触发模式。运行控制区是图 3-64b 所示的 Run Control 区。其中 Run Stop 是运行/停止控制按钮，Single 是单次触发按钮。

1）当运行/停止控制按钮变为绿色时，示波器处于连续运行模式，显示屏显示的波形是对同一信号多次触发的结果，这种方法与模拟示波器显示波形的方法类似。当运行/停止按钮变为红色时，示波器停止运行，即停止对信号触发，显示屏顶部状态行中触发模式位置上显示“Stop”。但是，此时旋转水平旋钮和垂直旋钮可以对保存的波形进行平移和缩放。

2）当 Single（单次触发）按钮变为绿色时，示波器处于单次运行模式，显示屏显示的波形是对信号的单次触发。利用 Single 按钮观察单次事件，显示波形不会被后继的波形覆盖。在平移和缩放需要最大的存储器深度，并且希望得到最大取样率时，应使用单次触发模式。单次触发完成后，示波器停止，“Run/Stop”按钮点亮为红色，再次单击 Single 按钮，又一次触发波形。

（7）调节波形显示亮度：图 3-64b 中左下角的 INTENSITY 旋钮是调节波形显示亮度旋钮。

（8）选择模式：单击图 3-64b 中 Trigger（触发区）Mode/Compling（模式/耦合）按钮 Mode Coupling，显示屏的下部出现 Mode、Holdoff 软按钮。通过设置软按钮，可以改变触发模式。

单击 Mode（模式）软按钮，出现 Normal、Auto 和 Auto Level 触发 3 种选择。

1）Normal 模式显示符合触发条件时的波形，否则示波器既不触发扫描，显示屏也不更新。对于输入信号频率低于 20Hz 或不需要自动触发的情况，应使用常规触发模式。

2）Auto 模式自动进行扫描信号，即使没有输入信号或是输入信号没有触发同步时，仍可以显示扫描基线。

3）Auto Level 模式适用于边沿触发或外部触发。示波器首先尝试常规触发，如果未找到触发信号，它将在触发源的 ±10% 的范围搜索信号，如果仍没有信号，示波器就自动触发。在把探头从电路板一点移到另一点时，这种工作模式很有用。

（9）测量控制区：测量控制区是图 3-64b 中的 Measure 区。其中 Cursor 按钮是游标按钮，Quick Mear 按钮是快速测量按钮。单击 Cursor 按钮，在显示屏下面出现如图 3-68 所示选择菜单，通过改变菜单中的参数，可以选择测量源和设置测量轴的刻度。

1）Source 软按钮用于从模拟通道 1、模拟通道 2 或 math 菜单中选择测量源。

2）X Y 软按钮用于选择 X 轴或 Y 轴有关的参数的设置。

3）单击 Quick Mear 按钮，在显示屏下方将出现如图 3-69 所示的 Quick Mear 选择菜单，通过改变菜单中的参数可以设置相关测量参数。

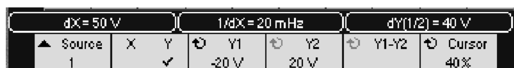


图 3-68　选择菜单



图 3-69　Quick Mear 选择菜单

4）单击软按钮，可实现菜单之间的转换。

5）单击 Source 软按钮，从模拟通道 1、2 或 math 菜单中选择测量源。

6）单击 Clear Meas 软按钮，停止测量。从软按钮上方显示行中擦除测量结果。

7）分别单击 Frequency、Period、Peak－Peak 等软按钮，测量波形的频率、周期、峰－峰值等性能指标，并显示在软按钮上方显示行中。

（10）打印显示：单击 Quick Print（快速打印）按钮，可以把包括状态行和软按钮在内的显示内容通过打印机打印。单击 Cancel Print 软按钮，可停止打印。

（11）网格的亮度：单击 Display 按钮，旋转输入旋钮改变显示的网格亮度，Grid（网格）软按钮中显示的亮度级可在 0～100% 间调节。

3.18.4　示波器触发方式的调整

触发控制区是图 3-64b 中的 Trigger 区。其触发方式有边沿触发、脉冲宽度触发、码型触发 3 种类型。

（1）边沿触发：通过面板上的按钮，可以选择触发源和触发方式。单击面板上的按钮，显示屏下面弹出了 Source 软按钮和 Slope 软按钮。通过 Source 软按钮，选择触发源，触发源主要有模拟通道 1、模拟通道 2、Ext（外部）、数字通道 D0～D15。通过 Slope（斜率）软按钮，选择触发类型并显示在屏幕右上角。

（2）脉冲宽度触发：单击按钮，选择脉冲宽度触发并显示脉冲宽度触发菜单，如图 3-70 所示。该菜单含义依次为触发源选择按钮、脉冲极性选择按钮、时间限定符选择按钮、脉冲宽度限定符时间小于某一确定时间的调整按钮和脉冲宽度限定符时间大于某一确定时间

的调整按钮。

（3）码型触发：码型是各通道数字逻辑组合的序列。每个通道数字逻辑有高（H）、低（L）和忽略（X）值。码型触发通过查找指定码型识别触发条件，可以指定一个通道信号的上升或下降沿作为触发条件。单击面板 Trigger 区的 Pattern（码型）按钮，显示 Pattern 触发菜单如图 3-71 所示。



图 3-70 脉冲宽度触发菜单



图 3-71 码型触发菜单

3.19 泰克示波器

3.19.1 泰克示波器的图标和面板

Multisim 11 提供的泰克示波器是仿 Tektronix TDS 2024 型虚拟仪器，拥有 4 通道 200MHz 带宽。泰克示波器图标和面板如图 3-72 所示。



a) 泰克示波器的图标　　b)泰克示波器的面板

图 3-72 泰克示波器的图标和面板

泰克示波器共有 7 个连接点，从左至右依次为 P（探针公共端，内置 1kHz 测试信号）、G（接地端）、1、2、3、4（模拟信号输入通道 1～4）和 T（触发端）。

3.19.2 泰克示波器的特性

泰克示波器具有以下特性：

1）运行模式：自动、单一、停止。

2）触发模式：自动、正常。

3）触发类型：边沿触发、脉冲触发。

4）触发源：模拟、外部。

5）显示方式：Main、window、XY、FFT、Trig view。

6）信号通道数：4 个模拟通道、1 个 Math 通道和 1 路 1kHz 的自检测试信号。

7）光标数：4 个。

8）Math 通道：FFT 变换、加法、减法运算。

9）测量功能：用于对光标位置进行显示以及对频率、周期、峰峰值、最大值、最小

值、上升时间、下降沿时间、有效值、平均值等进行测量。

10）显示控制：用于对矢量线或点划线、对比度进行控制。

11）自动设置：有。

12）打印波形：有。

此软件菜单栏的功能与真实仪器类似。

1. 操作使用

仪器面板主要有显示区、系统选项按钮、电源开关和功能区 4 部分组成。其中功能区主要分为系统菜单控制区、触发控制区、水平控制区和垂直控制区。且每个区中所有按钮被单击时，都会在显示区中弹出相应的子菜单。

（1）显示区：示波器的面板左下角有一个电源按钮，单击此按钮后示波器接通电源。示波器的显示区片刻被点亮。此时如果示波器处在测量状态下，信号幅值在 mV 范围内，则在显示区域内会显示不随机感应的不规则的杂波。在正式测量信号时，示波器的探头应按规定接在被测量端，在被调整到合适幅值和时基的示波器上应该能看见输入信号的波形，同时在显示区域内不同的位置上显示对于示波器进行控制设置的详细信息。

（2）系统菜单控制区：用户界面设计主要是通过系统菜单操作实现访问功能。单击面板中的某一按钮，示波器将在显示屏的右侧显示相应的菜单。该显示菜单对应于面板左边一列未标记的按钮，根据菜单提示单击相应的选项按钮即可实现所选择项目的功能。通常采用以下 4 种方法来显示菜单选项。

1）子菜单选择：对于某些菜单，可使用面板上边的选项按钮来选择两个或三个子菜单。每次单击这些子菜单中的某个按钮时，选项显示的提示都会随之改变。例如，单击 SAVE/RECALL 按钮，然后单击菜单对应的顶端选项按钮，示波器的菜单显示将在“设置”和“波形”间进行切换。

2）循环列表选择：每次单击这类选项按钮时，示波器都会将参数设定为不同的值。例如，可单击“CH1 菜单”按钮，然后单击耦合对应的顶端选项按钮，那么“耦合”方式将在直流、交流、接地之间进行选项切换。

3）动作选择：当单击“动作选项”按钮时，示波器会立即给出动作选项的类型。例如，单击 DISPLAY 按钮，然后再单击“对比度增加”对应的选项按钮，这时示波器屏幕会立即改变对比度的显示深度。

4）单选钮选择：示波器为区分各选项的内容，使用了不同的显示环境提示。每个当前选择的选项被加亮为黑色衬底显示的文字。例如，当单击 ACQUIRE（采集）按钮时，示波器会显示不同的采集模式选项。要选择某个选项，可单击相应按钮，则其相应的选项被点亮。

（3）系统菜单和控制区的按钮功能

1）SAVE/RECALL（保存/调出）：显示设置和波形的“保存/调出”菜单。

2）MEASURE（测量）：显示自动测量菜单。

3）ACQUIRE（采集）：显示“采集菜单”。

4）DISPLAY（显示）：显示“显示菜单”。

5）CURSOR（光标）：显示“光标菜单”。当显示“光标菜单”并且光标被激活时，“垂直位置”控制方式可以调整光标的位置。离开“光标菜单”后，光标保持显示（除非

“类型” 选项设置为 “关闭”)，但不可调整。

6) UTILlTY（辅助功能）：显示“辅助功能菜单”。

7) HELP（帮助）：显示“帮助菜单”。打开泰克示波器帮助文件。

8) DEFAULT SETUP（默认设置）：自动调出厂商对软件的出厂设置。

9) AUT0 SET（自动设置）：自动设置示波器控制状态，以产生适用于输出信号的显示图形。

10) SINGLE SEQ（单次序列）：采集单个波形，然后停止。

11) RUN/STOP（运行/停止）：连续采集波形或停止采集。

12) PRINT（打印）：开始打印操作。

（4）触发控制区

1) ：“电平” 和 “用户选择” 旋钮。当使用边沿触发时，由于 “电平” 旋钮的基本功能是用来设置电平幅度，所以信号必须高于它才能进行采集。还可使用此旋钮执行 “用户选择” 的其他功能。旋钮下的 LED 发亮可以指示相应功能。

2) ：显示 “触发菜单”。

3) 设置为 50%，触发电平设置为触发信号峰值的中点。

4) 强制触发，不管触发信号是否适当，都要完成采集。如采集已停止，则该按钮不起作用。

5) 触发视图，单击 “触发视图” 按钮时，显示触发波形而不显示通道波形。可用此按钮查看诸如触发耦合之类的对触发信号的影响。

（5）垂直控制区

1) CH1 ~ CH4 的垂直位移（Position）旋钮：可调整波形的垂直位置。当单击菜单区的光标（cursor）按钮时，CH1、CH2 的垂直位移旋钮下方两个指示灯 LED 变亮，在这种状态下旋转旋钮，则光标 1、光标 2 定位移动有效。

2) CH1 MENU ~ CH4 MENU 4 个按钮：显示对应垂直通道的菜单项并打开或关闭对应通道波形的显示。

3) CH1 ~ CH4 的 VOLTS / DIV 旋钮：是用来调整标定对应垂直通道 Y 轴刻度系数。

4) ：数学运算按钮，显示单个通道波形的 FFT 变换或者两个通道波形的数学运算。

（6）水平控制区

1) 水平位移旋钮：调整所有通道和数学波形的水平位置。这一控制的分辨率随时基设置的不同而改变。要对水平位置进行大幅调整，可旋动调整 “秒/格” 的旋钮来更改水平刻度的读数，在使用水平控制改变波形时，水平位置读数表示屏幕中心位置处所表示的时间（将触发时间作为零）。

2) ：水平菜单按钮，显示 “水平菜单” 的选项，如果继续进行操作测量可单击对应的按钮。

3) ：设置为零按钮，将水平位置从任意处移到 X 轴的中心定义为零。

4) SEC / DIV 旋钮：为主时基或窗口时基选择水平的时间/格（刻度系数）。如窗口区被激活，通过更改窗口时基可以改变窗口的宽度。

2. 使用举例

如图 3-73 所示的电路。测量信号源 V1 和 V2 的有关参数。

将信号源 V1、V2 分别接入示波器的 1、2 号端，单击“仿真”按钮，电路开始仿真。

单击 CH1 菜单按钮，单击自动设置按钮，示波器自动设置垂直、水平和触发控制。示波器根据检测到的信号进行模数转换和一些相应的处理，在显示屏幕上自动显示测量波形和数据。使用时也可单击 DEFAULT SETUP 按钮，然后再用其他的按钮和自动设置完成测量。也可用手动调整设置控制，测量结果显示如图 3-74 所示。

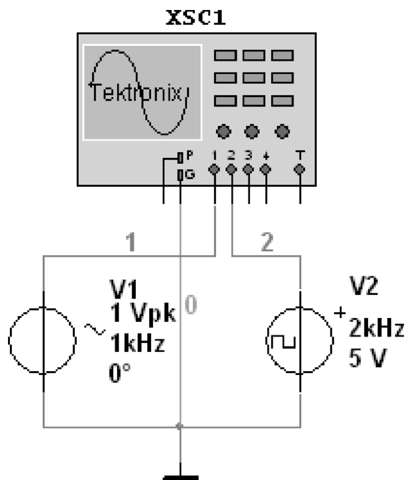


图 3-73　泰克示波器测量电路

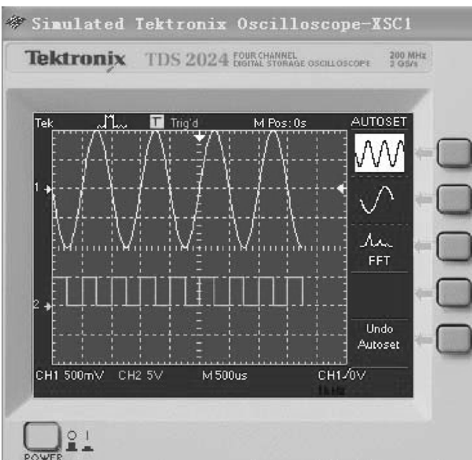


图 3-74　测量结果显示

3.20　测量探针

在电路仿真过程中，测量探针（Measurement Probe）可以用来对电路的某个点的电位、某条支路的电流或频率等特性进行动态测试，使用起来较其他仪器更加方便、灵活。其主要有动态测试和放置测试两种功能。动态测试即仿真时用测量探针移动到任何点时，会自动显示该点的电信号信息；而放置测试则是在仿真前或仿真时，将测量探针放置在目标位置上，仿真时该点自动显示相应的电信号信息。

在如图 3-75 所示的测量探针测试电路中，左方是动态测试结果，右方为放置测试结果。

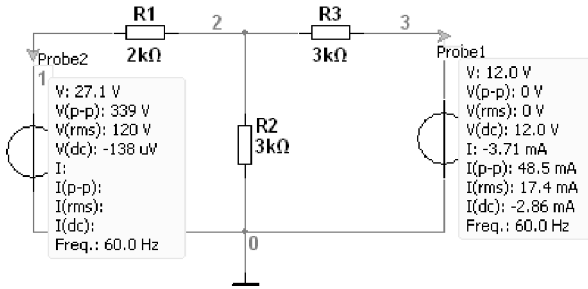


图 3-75　测量探针测试电路

3.21　电流探针

电流探针（Current Probe）是效仿工业应用电流夹的动作，将电流转换为输出端口电阻

丝器件的电压。如果输出端口连接的是一台示波器，则电流基于探针上电压到电流的比率确定。其放置和使用方法如下：

（1）在仪器工具栏中选择电流探针。

（2）将电流探针放置在目标位置（注意不能放置在节点上）。

（3）放置示波器在工作区中，并将电流探针的输出端口连接至示波器。

为了能效仿现实中的电流探针状态，默认的探针输出电压到电流比率为 1V/mA。若要修改该比率，可双击电流探针弹出的电流探针属性对话框，并在对话框中的 Ratio of Voltage to Current”（电压电流比率）文本栏中修改数值，单击 Accept 按钮确认即可。

下面介绍利用电流探针、示波器测量电流的方法，测试电路如图 3-76 所示。

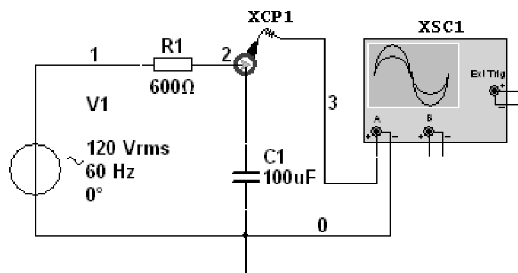


图 3-76　电流探针测试电路

根据如 3-77 所示示波器的波形读出所测量的电压值为 270.415V，而默认的比率为 1V/mA，可以得到对应的电流值为 270.415mA。若要反转电流探针输出的极性，在电流探针上单击鼠标右健，并从弹出的快捷菜单中选择“Reverse Probe Direction”（反转探针极性）命令即可。

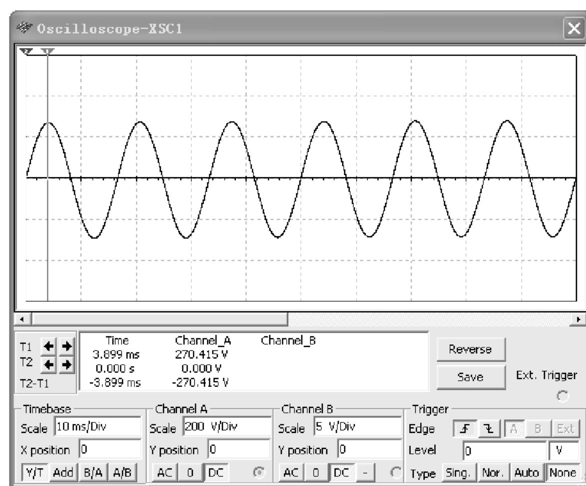


图 3-77　由电流探针测试的波形

3.22　LabVIEW 虚拟仪器

Multisim 11 提供了 4 种 LabVIEW 虚拟仪器，分别是传声器（Microphone）、扬声器（Speaker）、信号发生器（Signal Generator）和信号分析仪（Signal Analyzer）。在 Multisim 11 仪器栏中，打开 LabVIEW 虚拟仪器的下拉框，可以看到这 4 个虚拟仪器，如图 3-78 所示。

3.22.1　传声器（Microphone）

传声器仪器可以通过计算机的声卡录音，这些录制的声音数据可以作为 Multisim 11 的

信号源。

单击 Multisim 11 提供的 LabVIEW 中的 Microphone 选项，可以在电路工作区窗口放置传声器的图标，如图 3-79 所示。



图 3-78　Multisim 11 的 LabVIEW 虚拟仪器



图 3-79　传声器的图标

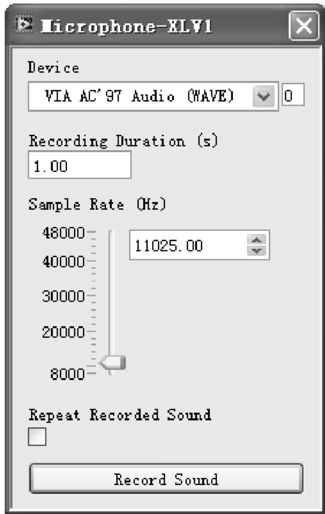


图 3-80　传声器设置对话框

双击传声器图标打开传声器设置对话框，如图 3-80 所示。

在传声器设置对话框中，Device 中用来选择合适的音频设备（通常选用默认的设备）；Recording Duration（s）中用来设置合适的录音持续时间；Sample Rate（Hz）中用来设置采样频率。请注意，选取的采样频率越高，输出声音信号的品质越好，但是仿真的速度就越慢。在仿真前，选取 Repeat Recorded Sound 复选框，可以防止当录音时间超过设定录音长度时输出的信号为零。

在电路仿真前，必须对传声器先进行设置和录制声音信号，在随后的电路仿真中，可以用这些音频数据作为声音信号源，其具体方法如下：

1）参数设置好后，单击 Record Sound 按钮，即可通过计算机的声卡进行录音。

2）录音完成后，单击仿真开关按钮开始仿真，此时传声器仪器会把刚才录制的音频信号作为个电压信号输出，为其他设备提供信号源。

3.22.2　扬声器（Speaker）

单击 Multisim 11 提供的 LabVIEW 中的 Speaker 选项，可以在电路工作区窗口放置扬声器的图标，如图 3-81 所示。

双击扬声器的图标，打开扬声器设置对话框，如图 3-82 所示。

扬声器在仿真过程中存储输入的数据，停止电路仿真可以提供电压形式的输出信号，经计算机的声卡可以把该音频信号播放出来，在使用该仪器前必须先设置好参数。

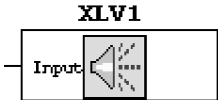


图 3-81　扬声器的图标

在扬声器设置对话框中，Device 中用来选择合适的音频设备（通常选用默认的设备）；Playback Duration（s）中用来设置播放的时间，Sample Rate（Hz）中用来设置采样频率。

注意：如果使用由麦克风录制的数据作为信号源数据，则扬声器的频率应和传声器的频率保持一致，或者把扬声器的频率设定为输入信号频率的 2 倍以上。具体方法如下：

1）电路开始仿真，在仿真过程中扬声器存储输入的数据，直到到达设定的仿真时间才停止。

2）停止电路仿真，打开扬声器对话框，单击 Play Sound 按钮，扬声器开始播放刚才存储的声音信号。

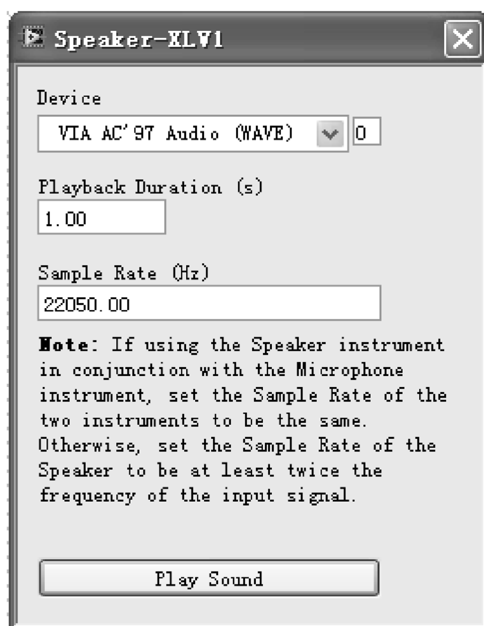


图 3-82　扬声器设置对话框

3.22.3　信号发生器（Signal Generator）

信号发生器能够产生并输出信号，可以作为信号源使用。

单击 Multisim 11 提供的 LabVIEW 中的 Signal Generator 选项，可以在电路工作区窗口放置信号发生器的图标，如图 3-83 所示。



图 3-83　信号发生器的图标

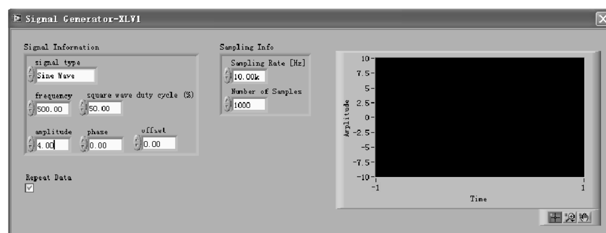


图 3-84　信号发生器的面板

双击信号发生器的图标打开信号发生器的面板，如图 3-84 所示。

发生器的面板的设置方法如下：设置 Signal Information 中的内容：在图中的 signal type 选择框中，选择需要的信号类型：正弦波、三角波、方波和锯齿波在 frequency 选项中设置信号的频率；在 square wave duty cycle（%）选项中设置方波信号的占空比；在 amplitude 选项中设置信号的幅度：在 phase 选项中设置信号的相位；在 offset 选项中设置信号的偏置电压。设置“Sampling Info 中的信息：在 Sampling Rate（Hz）选项中设置信号的采样率；在 Numher of Samples”选项中设置信号的采样个数。为保证信号的连续输出，可选择 Repeat Data 复选框，设置后如图 3-84 所示。

3.22.4　信号分析仪（Signal Analyzer）

信号分析仪是一个信号接收设备，它能够适时地显示和分析输入信号。

单击 Multisim 11 提供的 LabVIEW 中的 Signal Analyzer 选项，可以电路工作区窗口放置信号分析仪的图标，如图 3-85 所示。



图 3-85　信号分析仪的图标

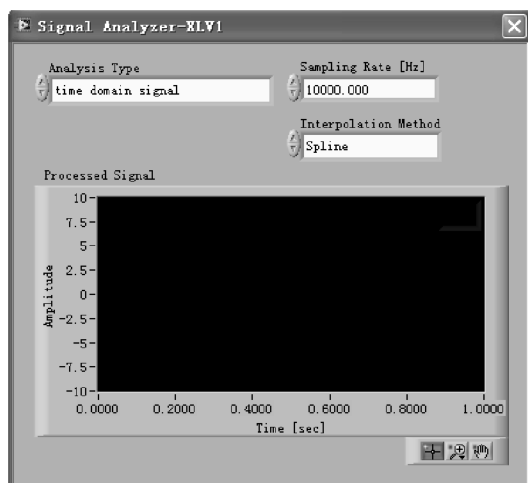


图 3-86　信号分析仪的面板

双击信号分析仪的图标打开信号分析仪的面板，如图 3-86 所示。

信号分析仪是一个信号接收设备，它能够实时地显示和分析输入信号，信号分析仪的面板的设置方法如下：在 Analysis Type 选项中设置信号的分析类型；在 sampling Rate（Hz）选项中设置信号的采样率，为保证信号的正常显示，采样频率应是信号频率的 2 倍以上，采样率越高，输出波形和输入波形就越一致。

思　考　题

3-1　Multisim 11 提供了哪些仪器仪表？

3-2　说明电压表使用时设置的方法？

3-3　说明电流表使用时设置的方法？

3-4　数字万用表与电压表、电流表比较，在功能和使用方法上有什么不同？

3-5　功率表有什么功能？其电压、电流端子如何与电路连接？

3-6　虚拟示波器与现实示波器相比较有哪些特长？

3-7　函数信号发生器可产生几种信号？性能参数有哪些？

3-8　波特图示仪有什么功能？其与电路是如何连接的？

3-9　数字信号发生器最多可产生多少位逻辑信号？说明其主要设置。

3-10　逻辑分析仪具有什么功能？说明其主要设置。

3-11　逻辑转换仪具有什么功能？

3-12　失真分析仪具有什么功能？说明其设置和使用方法。

3-13　频谱分析仪主要用来测试什么？其有哪些设置？

3-14　网络分析仪具有什么功能？如何使用？

第 4 章　电子电路原理图设计

设计电路原理图是进行电子产品设计的重要环节，本章介绍设计电路原理图的基本操作。

4.1　电子电路的操作界面设置

Multisim 11 启动后，会出现一个默认的窗口界面，这一窗口界面并不见得所有的用户都能喜欢，例如有的用户不喜欢电路窗口的背景为黑色，还有的用户不喜欢原有的标题栏。Multisim 11 允许用户根据具体电路的要求和个人的习惯设置一个特定的窗口界面，以便于原理图的绘制和仿真分析。操作界面的设置包括原理图的页面大小、电路颜色、聚焦倍数、符号系统（选择 ANSI 或 DIN）、保存时间和打印设置等。创建新文件后，可通过 Option 菜单中的 Global Preferences 和 Sheet Properties 两个选项进行设置。

4.1.1　总体参数设置

执行菜单 Options \ Global Preferences 命令，弹出如图 4-1 所示的 Global Preferences 对话框，在该对话框中有 6 个标签页，基本包括了电路界面的所有设置。需要说明的是，这些设置是对 Multisim 11 界面的整体改变，以后启动即按改变后的界面运行。

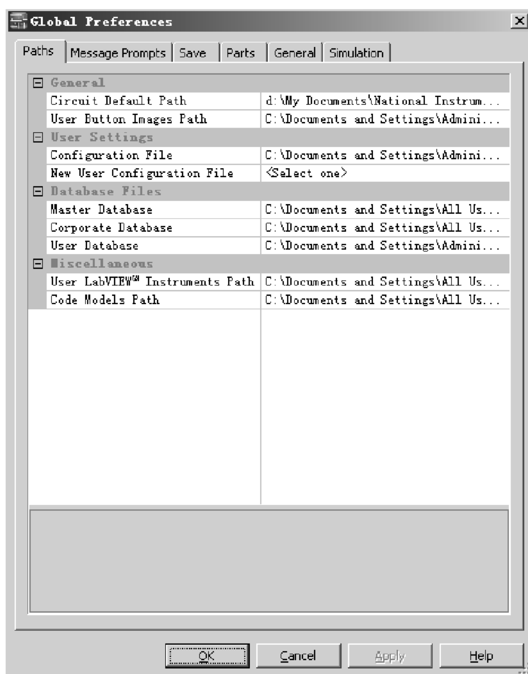


图 4-1　Global Preferences 对话框

（1）Paths 标签页（路径设置）：Paths 标签页如图 4-1 所示。电路图、元器件库等文件的存储位置，系统默认为 Multisim 11 安装目录。该标签页的各项具体功能如下：

1）General 区

① Circuit Default Path：Multisim 11 默认的电路图文件存储目录，此项设置非常重要，一般将其设置到硬盘的其他分区的目录下。

② User Button Images Path：用户自己设计的按钮图形存储目录。

2）User Settings 区

① Configuration File（配置文件）：用户自己设定界面后的配置文件存放位置。

② New User Configuration File：新的用户配置文件。

3）Database Files 区

① Master Database：Multisim 11 提供的元器件库存放的位置。

② Corporate Database：企业或个人修改、创建和导入的共用元器件库存放的位置。

③ User Database：个人修改、创建和导入的元器件库存放的位置。

4） Miscellaneous 区

① User LabVIEW Instruments Path：用户创建的 LabVIEW 仪器存放目录。

② Code Models Path：用户创建的代码模型存放目录。

注意：以上两项设置将影响下一次启动程序。

（2） Message Prompts 标签页（信息提示）：Message Prompts 标签页如图 4-2 所示，包括 4 个区。

1） Netlist change 区：该区提供网络表变化的信息。

2） NI Example Finder 区：该区提供范例查找的信息。

3） Project packing 区：该区提供项目打包的信息。

4） SPICE Netlist Viewer 区：该区提供 SPICE 网络表查看器的信息。

（3） Save 标签页（保存设置）：Save 标签页如图 4-3 所示。该页可以设置一个自动备份定时器，以及选择是否需要保存仿真仪器数据等。

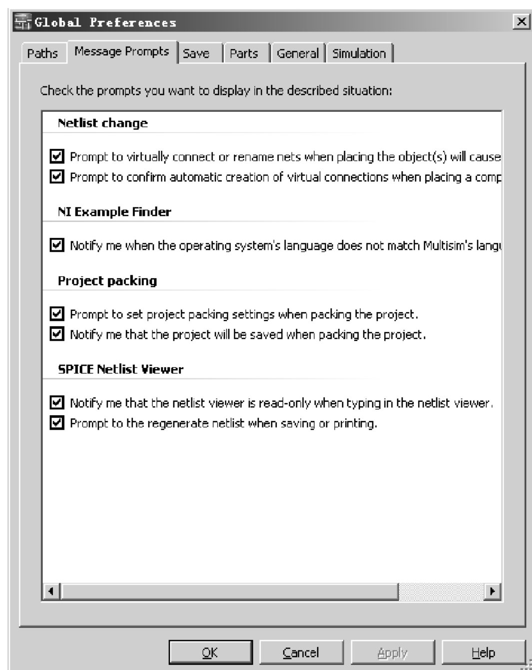


图 4-2　Message Prompts 标签页

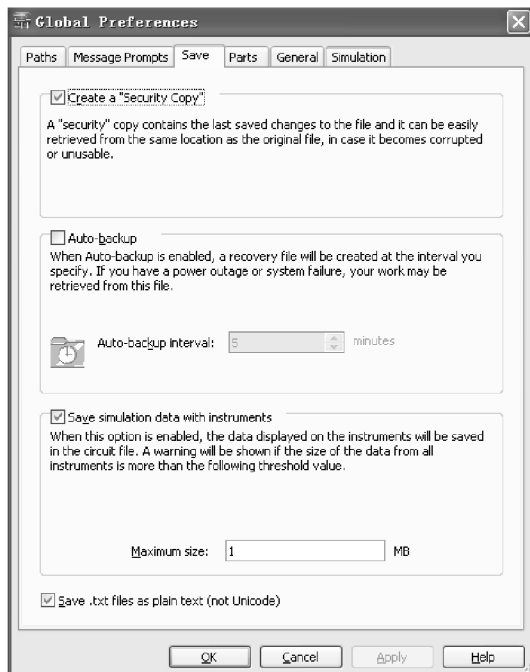


图 4-3　Save 标签页

1） Create a“Security Copy”选择框区：是否设置电路图文件安全备份，此文件与电路图文件存储在同一个目录。

2） Auto – backup 选择框区：用于确定选择自动备份功能和备份时间间隔，以便在断电或系统故障后恢复以前创建的文件。Auto – backup interval：用来指定自动保存的间隔，以分钟为单位。

3） Save simulation data with instruments 选择框区：是否设置将仿真结果与仪器一起保存。如选中则将仿真结果保存在电路文件中。当文件的大小大于指定仿真数据大小时，会弹

出警告提示框。Maximum size：用来指定仿真数据大小，以兆比特（Mbit）为单位。

4）Save . txt files as plain text（not Unicode）选择框：该项选中则以纯文本格式存储文件。

（4）Parts 标签页（元器件放置及符号标准设置）：Parts 标签页如图 4-4 所示。

1）Place component mode 区：该区用于选择放置元器件的方式。

① Return to Component Browser after placement 选择框：放置元器件之后，是否返回到元器件浏览窗口。这一功能选项可以方便放置不同的元器件。

② Place single component 选择框：该项选中仅允许一次放置一个被选元器件，不论是单个封装或是复合封装。

③ Continuous placement for multi－section part only（ESC to quit）选择框：对于复合封装元器件，可以单个连续放置，按 Esc 键结束放置。

④ Continuous placement for multi－section part only（ESC to quit）选择框：指选取一次元器件，可连续放置多个该元器件，不论是单个封装或是复合封装。按 Esc 键结束放置。

2）Symbol standard 区：选择元器件符号标准，其中“ANSI”选项设置采用美国标准，而“DIN”选项采用欧洲标准。我国的电气符号标准与欧洲标准相近，故选择 DIN 较好。

（5）General 标签页（常规设置）：General 标签页如图 4-5 所示。

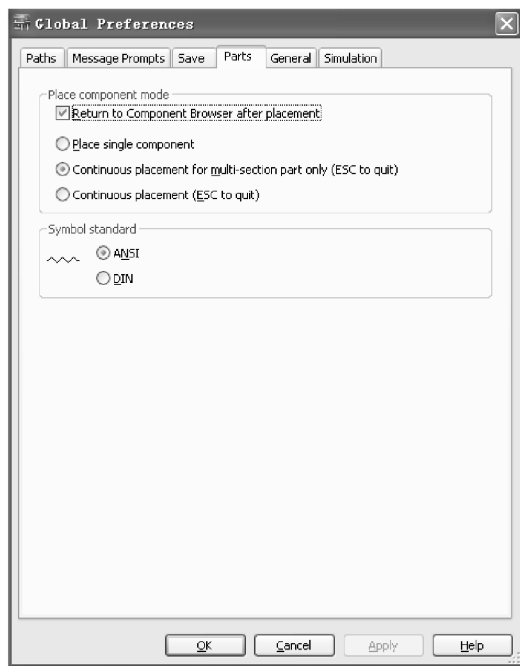


图 4-4　Parts 标签页

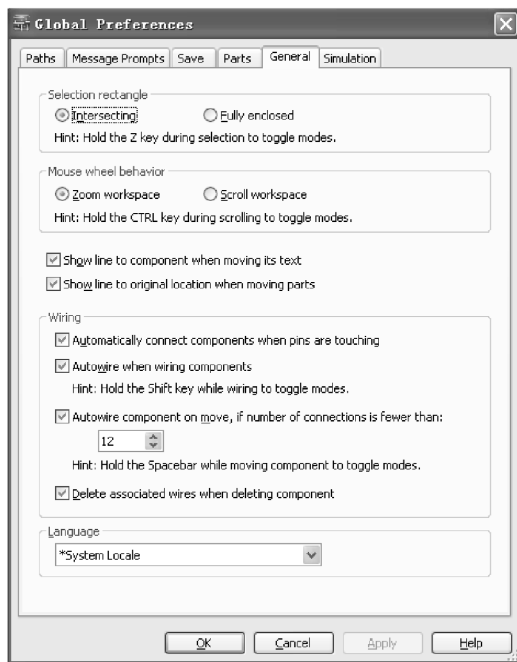


图 4-5　General 标签页

1）Selection rectangle 区：该区是采用矩形方式进行选择。

① Intersecting：矩形框内被选中。

② Fully enclosed：包围式全部选择。

提示：这两种方式可以在选择过程中按Z键进行切换。

2）Mouse wheel behavior 区：该区是采用鼠标滚动模式实现对电路图的操作。

① Zoom workspace：鼠标滚动时可以放大或缩小电路图工作区。

② Scroll workspace：鼠标滚动时可以实现电路图的翻页操作。

提示：这两种方式可以按Ctrl键进行切换。

3）Wiring 区：该区是连线操作的设置。

① Automatically Connect Components when Pins are touching：触碰元器件引脚时自动连线。

② Autowire when wiring Components：元器件间自动连线。

提示：这两种方式可以按Shift键进行切换。

③ Autowire Components on move，if number of Connections is fewer than：如果连接数少于下拉框中的数目，移动元器件时，自动重新连线。

提示：按住空格键可以切换移动元器件模式。

④ Delete associated wires when deleting Components：删除元器件时删除与之相连的连线。

4）Language 区：该区有 5 种可供选择的语言。

（6）Simulation 标签页（仿真设置）：Simulation 标签页如图 4-6 所示。

1）Netlist errors 区：该区用于设置仿真时网络表所发生的错误。

① When a Netlist error occurs：网络表发生错误。

② When a Netlist warning occurs：网络表发生报警。

2）Graphs 区：该区用于设置仿真时的图表。

Default background color for graphs and instruments：默认背景颜色和图形工具。

3）Positive phase shift direction 区：该区选项仅对 AC 信号图形显示方式有效，有两个选项。

① Shift right：图形曲线右移。

② Shift left：图形曲线左移。

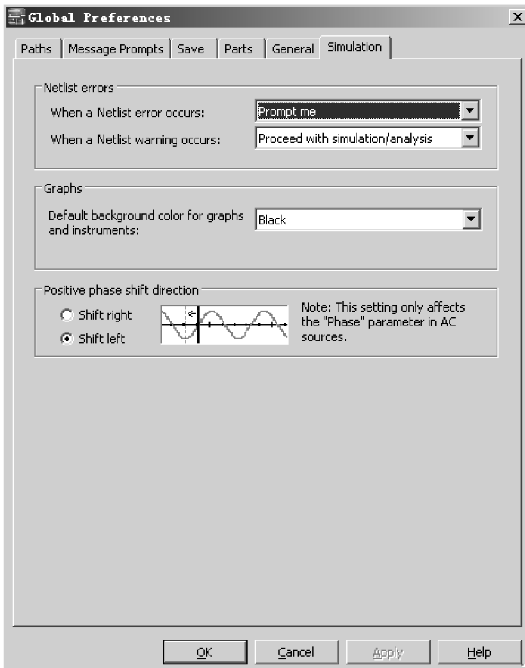


图 4-6　Simulation 标签页

4.1.2　电路图表属性设置

执行菜单命令 Options \ Sheet Properties 或 Edit \ Preference，都会弹出如图 4-7 所示的“Sheet Properties”对话框。该对话框有 6 个标签页，每个标签页都有若干功能选项，用户可

以根据需要选择设置各项参数。

（1）Circuit 标签页（电路图形设置）：Circuit 标签页如图 4-7 所示。该页对电路窗口内的电路图形进行设置，其各项的含义如下。

1）Show 区：该区用于显示电路图形的设置，左上角是预览窗口，其他为设置选项，分为 3 个栏目。

① Component 栏目：共有 8 个有关元器件的选项，各项含义如下：

Labels：是否显示元器件的标志文字。

Initial conditions：是否显示初始条件。

Tolerance：是否显示容差值。

Attributes：是否显示元器件属性。

Symbol pin names：是否显示元器件符号引脚名称。

Footprint pin names：是否显示元器件封装引脚名称。

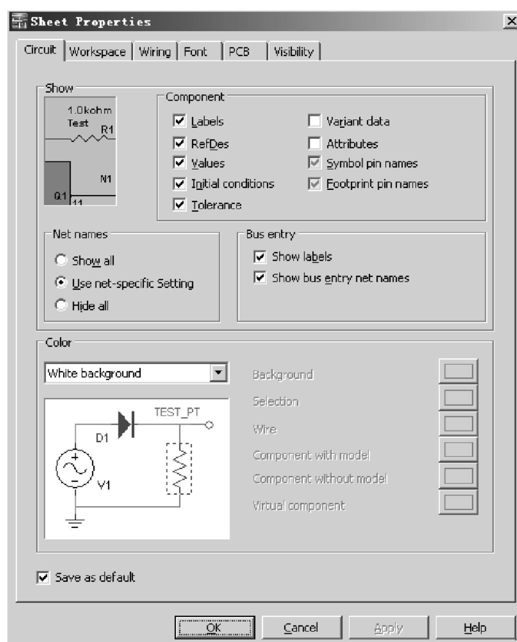


图 4-7　“Sheet Properties”对话框

② Net names 栏目：共有 3 个有关网络名称参数的选项。

Show all：是否全部显示。

Use net－specific Setting：是否特殊设置。

Hide all：是否全部隐藏。

③ Bus entry 栏目：设置总线相关参数。

Show labels：是否显示总线标号标志。

Show bus entry net names：是否显示总线分支网络名称标志。

2）Color 区：该区用于设置编辑窗口内各元器件和背景的颜色。在下拉框中可以指定程序预置的 5 种配色方案。如果预置的配色方案都不合适，可选“Custom”自行指定配色方案。自行指定配色方案时，应使用右侧的选项来分别指定各项目的颜色，其中：

Background：编辑区的背景色。

Selection：选中元器件的颜色。

Wire：元器件连接线的颜色。

Component with model：有模型元器件的颜色。

Component without model：无模型元器件的颜色。

Virtual component：虚拟元器件的颜色。

设置时，单击所要设置颜色项目右边的按钮，打开颜色对话框，选取所需颜色，然后单击“OK”按钮即可。

（2）Workspace 标签页（电路工作区设置）：Workspace 标签页如图 4-8 所示，该页用于设置电路工作区，包括两个区。

1）Show 区：设置图样的显示格式，其左半部是设置的预览窗口，右半部是设置选项。

Show grid：是否显示栅格。

Show page bounds：是否显示图样边界。

Show border：是否显示边框。

2）Sheet size 区：设置图样的规格及方向。左上方是图样规格的选择框，软件提供了 A、B、C、D、E、A4、A3、A2、A1、A0、Legal、Executive、Folio 13 种标准格式的图样。如果要自定义图样尺寸，则选择 Custom 项，然后在 Custom size 栏内指定图样宽度（Width）和高度（Height），其单位可选择英寸（Inches）或厘米（Centimeters）。另外，在左下方的 Orientation 栏内，可设置图样放置的方向，Portrait 为纵向，Landscape 为横向。

（3）Wiring 标签页（导线设置）：Wiring 标签页如图 4-9 所示，该页用于设置电路的导线宽度与连线方式。

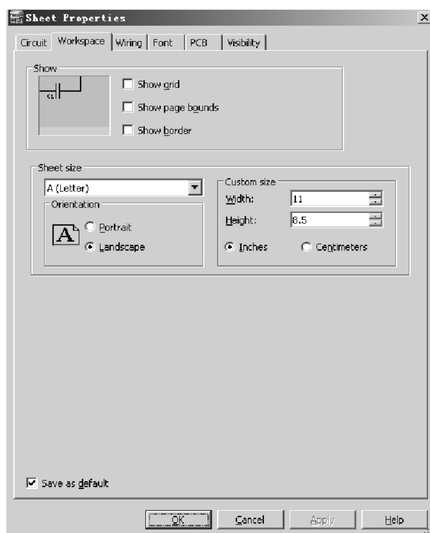


图 4-8　Workspace 标签页

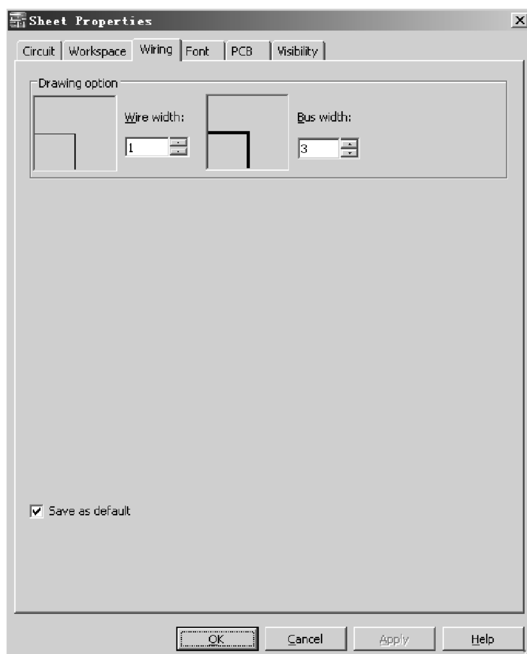


图 4-9　Wiring 标签页

在 Drawing Option 区中，有两项设置选项：

1）左侧 Wire width：用于设置导线的宽度（像素）及预览窗口。

2）右侧 Bus width：用于设置总线的宽度（像素）及预览窗口。

（4）Font 标签页（字体标识设置）：Font 标签页如图 4-10 所示。该页用于设置元器件符号、封装引脚、网络名称、原理图文本、注释和总线的字体标志。其设置方法与 Windows 操作系统基本一样。

（5）PCB 标签页（印制电路板设置）：PCB 标签页如图 4-11 所示。该页用于印制电路板设计相关的选项。

Ground option 区：对 PCB 接地方式进行选择。若选中“Connect digital ground to analog ground”，则是在 PCB 中将数字接地与模拟接地连在一起，否则要将二者分开。

Unit setting 区：单位设置，用于 PCB 布局导出。

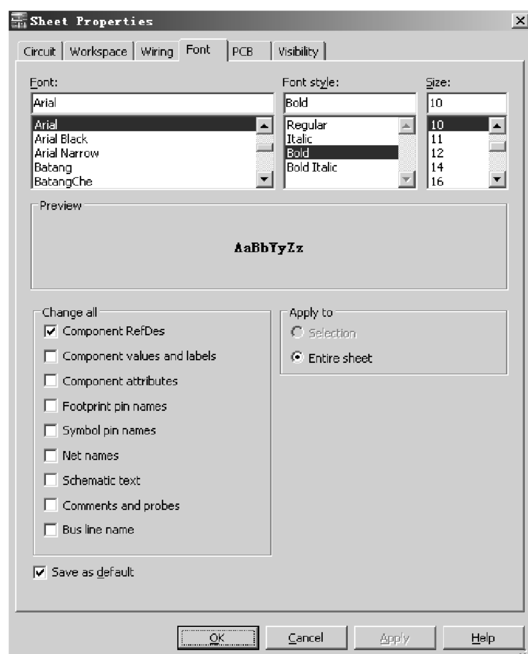


图 4-10 Font 标签页

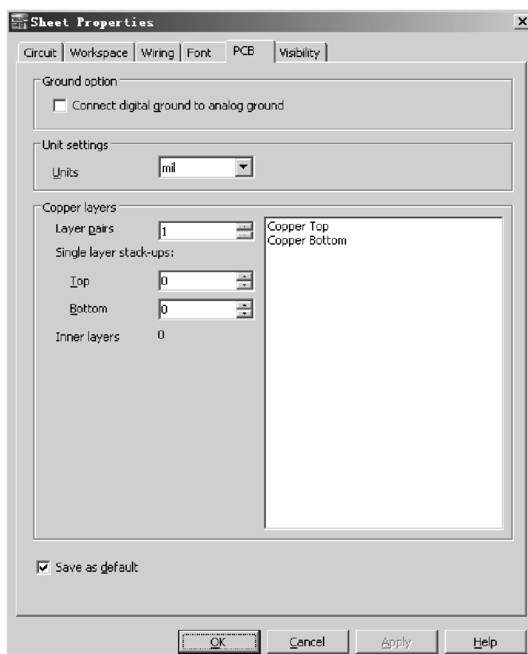


图 4-11 PCB 标签页

Copper layers 区：铜层设置，用于 Ultiboard 的确定默认版建立。

（6）Visibility 标签页（可视性设置）：Visibility 标签页如图 4-12 所示。该标签页主要用于添加注释层及设置各电路层是否显示。

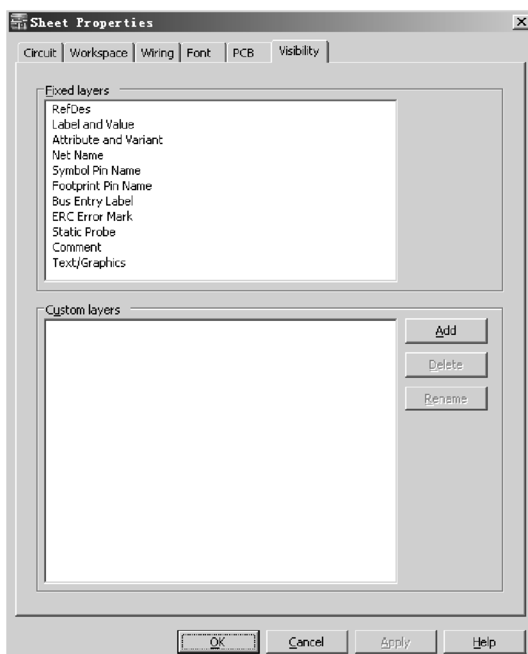


图 4-12 Visibility 标签页

Fixed layers 区：默认固定层，显示内容包括各元器件序号、标号及参数值、网络名、引脚标志、总线标志和注释等。

Custom layers 区：单击“Add”按钮增加自定义标注层到表格里，还可以在 Design Toolbox（设计工具箱）里面设置显示/隐藏这些层。

4.1.3 个性化标题栏的设置

用户可以设置具有特色的标题栏来表征电路图的个性。操作方法是：执行 Place \ Title Block 命令，弹出如图 4-13 所示的“打开”对话框。

双击对话框中的标题栏模板文件（例如 default），在电路窗口就会出现标题栏虚框，移动鼠标指针到指定位置，放置在标题栏上。双击标题栏，弹出如图 4-14 所示的标题栏对话框，输入相应信息。



图 4-13　“打开”对话框

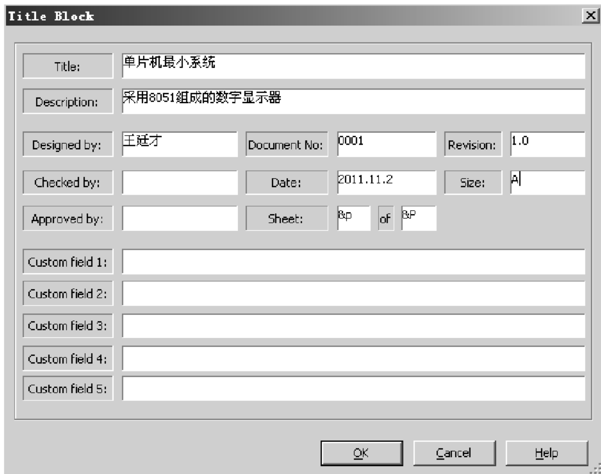


图 4-14　标题栏对话框

Title：电路图的图名，程序会自动地将当前文件名设定为图名。
Description：电路图的功能描述。
Designed by：电路图设计人。
Checked by：电路图核对人。
Approved by：电路图审核人。
Document No：电路图的图号。
Date：电路图绘制日期。
Sheet：当前电路图为图集的第几张图。
Of：电路图所属的图集共有多少张图。
Revision：电路图的版本号码。
Size：电路图的图样尺寸。
经过设置后的电路图界面如图 4-15 所示。

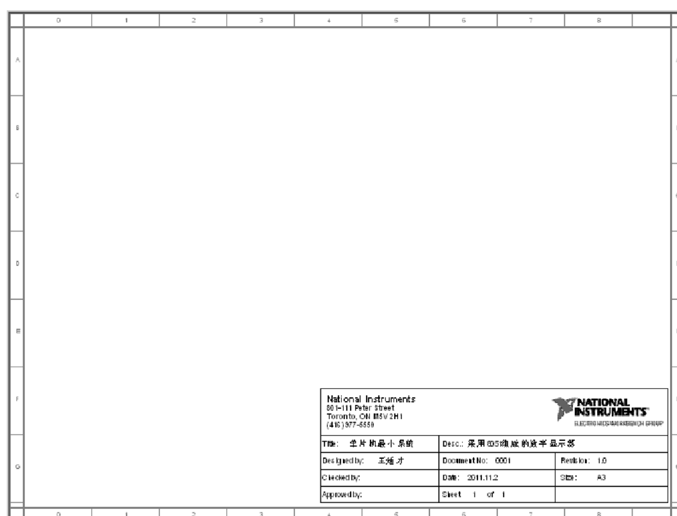


图 4-15　用户个性化电路图操作界面

4.2　放置元器件

绘制电路图时，一般是先在电路窗口放置元器件，然后进行电路连接和仿真。本节介绍放置元器件的几种方法。

4.2.1　从元器件工具栏的元器件库中选取

用的最多最直接的方法是从元器件工具栏的元器件库中选取。选取元器件时，首先要知道该元器件是属于哪个元器件库，将光标指向所要选取的元器件库，在弹出的元器件库中找到所属的元器件系列，在系列中找到具体元器件，单击即可将元器件调出。例如，我们要放置一个发光二极管 LED，首先让光标指向 LED 所在的 Diodes（二极管库），单击后即弹出选择元器件对话框，如图 4-16 所示。

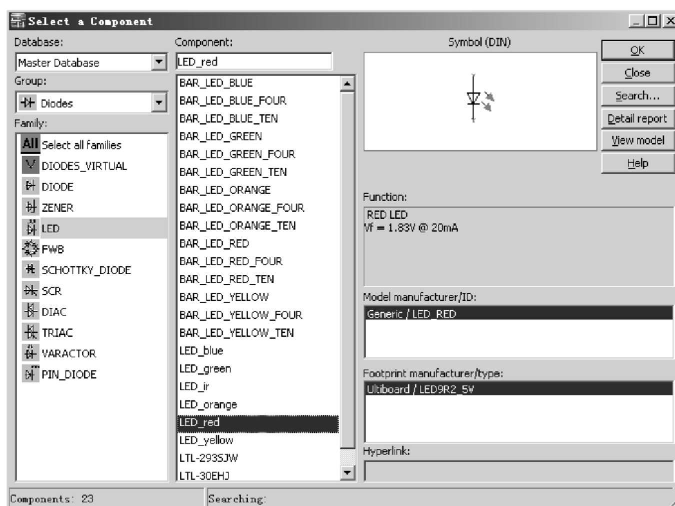


图 4-16　选择元器件对话框

选择 LED 系列，在 Component 栏中会出现 LED 系列所包含的各种元器件，找到要放置的元器件，单击 OK 按钮，该元器件就粘在光标上，移动光标到电路工作区的合适位置单击，即可将元器件放置在该位置上。

4.2.2　使用菜单命令放置元器件

Multisim 11 提供有放置元器件的菜单命令 Place \ Component，执行该命令后，会出现与图 4-16 所示完全一样的选择元器件对话框，可以在对话框中选择要放置的元器件，用同样的方法进行放置。

4.2.3　使用右键菜单命令放置元器件

在电路工作区单击鼠标右键，出现右键菜单如图 4-17 所示。

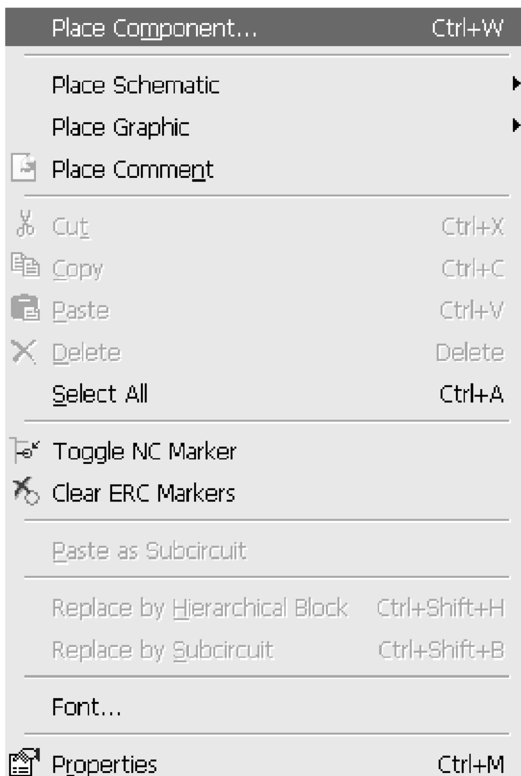


图 4-17　电路工作区右键菜单

执行右键菜单命令 Place Component，也会出现图 4-16 所示的选择元器件对话框，可以在对话框中选择要放置的元器件，用同样的方法进行放置。

4.2.4　如何正确使用虚拟元器件

严格地讲，元器件库中所有元器件都是虚拟元器件，但在 Multisim 11 软件的元器件库中许多元器件模型与实际存在的元器件基本对应，模型精度高，仿真结果准确可靠。本书称此类元器件为现实元器件。这里所说的虚拟元器件（Virtual Component）是指元器件的大部分模型参数是该类元器件的典型值，部分模型参数可由用户根据需要而自行确定的元器件。

在现实设计中，经常要用到各式各样的参数元器件，用户如能直接修改确定其中的一些参数，会给设计分析带来极大的方便。不仅如此，大多数情况下选取虚拟元器件的速度要比选取现实元器件快速得多。

虚拟元器件选取时可直接取出，而不必指定元器件值或元器件编号；待该元器件放置在电路窗口后，其某些参数值或元器件编号由用户随时更改。如果不是虚拟元器件，选取元器件时，必须等待程序启动该元器件库，然后由用户查找并指定元器件，对这种元器件不宜更改其部分参数。

以虚拟电阻（Virtual Resistor）为例，从虚拟元器件库中取出的是默认值为 1kΩ 电阻。为了得到所需参数的电阻，可双击该电阻图标，打开其属性对话框，如图 4-18 所示。

用户可以在对话框中对某些参数进行修改。

4.2.5 对电路窗口上的元器件操作

元器件放置到电路窗口后，根据需要还可以对其进行移动、删除、旋转和改变颜色等操作，这些操作可用 Edit（编辑）菜单的下拉命令来完成，也可以将光标放在元器件上，单击鼠标右键，在弹出的右键菜单中选择相应的选项来完成，图 4-19 所示为元器件的右键菜单。

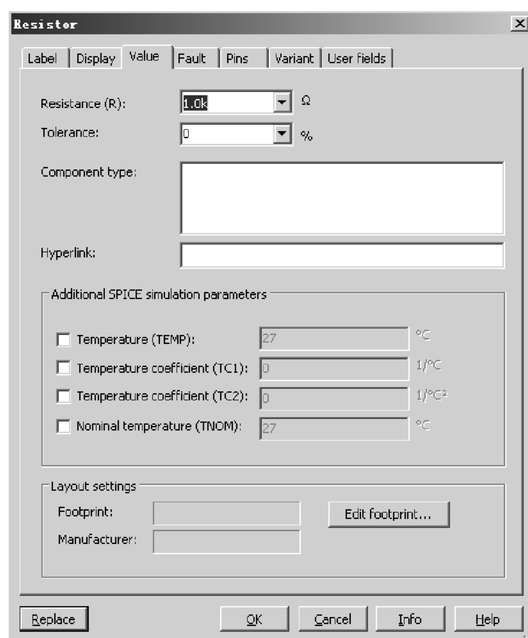


图 4-18　电阻属性对话框

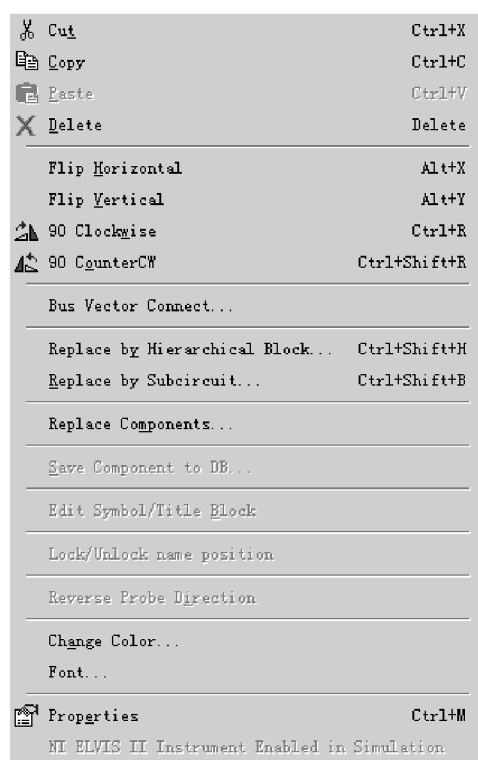


图 4-19　元器件的右键菜单

（1）移动元器件：让光标指向所要移动的元器件上，按住鼠标左键，然后移动鼠标，将其移动到合适位置后放开左键。

（2）删除元器件：让光标指向所要删除的元器件并单击，则在该元器件的四周将各出现一个方块。然后按下键盘上的 Del 键。

（3）剪切元器件：让光标指向所要剪切的元器件并单击，则在该元器件的四周将各出现一个方块。然后单击鼠标右键，弹出快捷菜单，选取 Cut 命令即可将元器件放置到剪贴板，同时电路窗口上的元器件消失。

（4）复制元器件：让光标指向所要剪切的元器件并单击，则在该元器件的四周将各出现一个方块。然后单击鼠标右键，弹出快捷菜单，选取 Copy 命令即可将元器件放置到剪贴板，电路窗口上的元器件不变。

（5）粘贴元器件：在完成 Cut 或 Copy 操作后，可以执行 Edit \ Paste 命令，将元器件粘贴到电路窗口。

（6）旋转元器件：让光标指向所要旋转的元器件并单击，则在该元器件的四周将各出现一个方块。然后单击鼠标右键弹出右键菜单，选取 Flip Horizontal 命令即可水平翻转，Flip Vertical 即可垂直翻转，90 Clockwise 即可顺时针旋转 90°，90 CounterCW 即可逆时针旋转 90°。

（7）改变元器件的颜色：让光标指向元器件，单击鼠标右键弹出右键菜单。然后选取 Change Color…命令，屏幕上出现如图 4-20 所示的对话框。

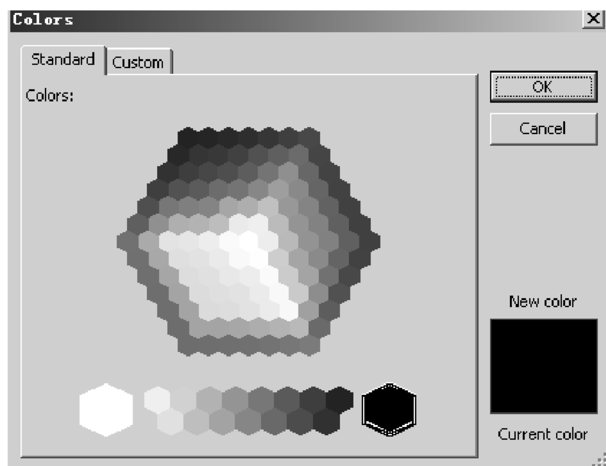


图 4-20　“颜色”对话框

直接选取所要采用的颜色，然后单击 OK 即可。

查看帮助信息：让光标指向元器件，单击鼠标右键弹出快捷菜单，然后选取 Help 命令。

查看元器件的属性参数：执行 Edit \ Properties 命令，或双击元器件都可弹出元器件属性对话框，通过该对话框可以查看元器件的属性参数，对虚拟元器件还可以修改某些参数。

4.3　连接线路

对电路窗口放置好的元器件进行线路连接是编辑原理图的重要步骤，Multisim 11 软件具有非常方便的线路连接功能，本节介绍线路的连接方法。

4.3.1　两元器件引脚之间连线

只要将光标移动到元器件的引脚附近，就会自动形成一个带十字的圆黑点，这时单击鼠标左键拖动光标，就会自动拖出一条虚线，移动光标到要连接的元器件引脚处再单击一下鼠标左键，一条连线就完成了，如图 4-21 所示。

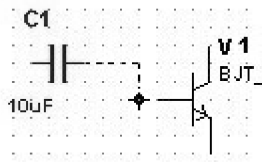


图 4-21　简单连线操作

4.3.2　放置节点

节点即导线与导线的连接点，在图中表示为一个小圆点。一个节点最多可以连接 4 个方向的导线，即上下左右每个方向只能连接一条导线，且节点可以

直接放置在连线中。放置节点的方法是：执行菜单命令 Place \ Junction，会出现一个节点跟随光标移动，即可将节点放置到导线上合适位置。两条线交叉连接处必须打上节点，如图 4-22 所示。

使用节点时应注意：为了可靠连接，在放置连接点之后，稍微移动一下与该连接点相连的其中一个元器件，查看是否存在脱离现象（即虚焊）。

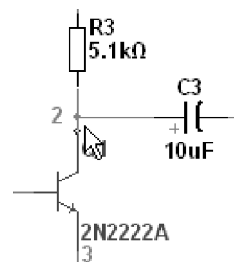


图 4-22 放置节点操作

4.3.3 元器件引脚与线路连接

元器件引脚与线路连接有两种方法：一是从元器件引脚向线路连接，二是由线路上的节点向元器件引脚连接。

1. 从元器件引脚向线路连接

先让光标移向元器件的引脚，当到达元器件引脚附近时，就会自动形成一个带十字的圆黑点，这时单击鼠标左键拖动光标，就会自动拖出一条虚线，如图 4-23a 所示。接着移动光标到要连接的线路处，再单击一下鼠标左键，会自动地在线路上形成一个节点，元器件引脚与线路的连线就完成了，如图 4-23b 所示。

2. 从线路向元器件引脚连线

从线路向元器件引脚连线，应首先在线路上放置一个节点，然后从这个节点再向元器件引脚连接。图 4-24 所示为在 0 号线上先放置一个节点，然后单击左键移动光标至 R2 引脚进行连线。

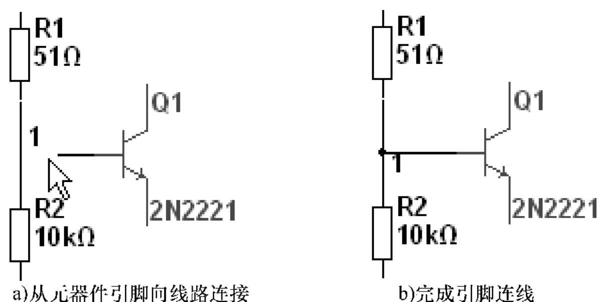


图 4-23 元器件引脚与线路连接

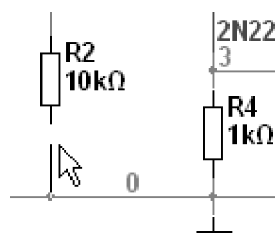


图 4-24 线路上放置节点再连接

4.3.4 线路之间的连接

有时需要将两条线路之间连接起来，连接的方法是：首先在其中一条线路上合适位置放置一个节点，然后使光标移动到该节点，即会自动形成一个带十字的圆黑点，这时单击鼠标左键确认，并拖动光标形成一条虚线，当到达要连接线路的合适位置后再单击，就会形成一个新的节点，且这两个节点之间产生了一条连线，如图 4-25 所示。

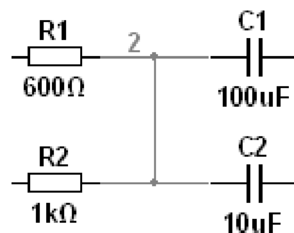


图 4-25 两线之间连接

注意，在线路中经常遇到两条线交叉而不连接的情况，在进行交叉连接时可直接穿过，不要在线路上停顿单击，就不会

产生连接点，如图 4-26 所示。

4.3.5　放置总线

现代电子电路中，集成电路已成为电路的主要器件，电路的连线越来越多，甚至难以分辨其来龙去脉，但经常遇到多条导线按同一方向连接的情况，例如，图 4-27 所示的是一个 3 线—8 线译码器与七段显示器连接电路，由 A、B…G 等 7 条连接线把它们彼此连接起来。

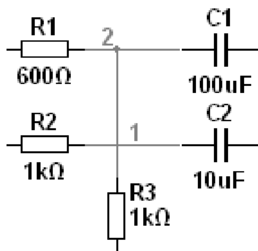


图 4-26　两线交叉不连接

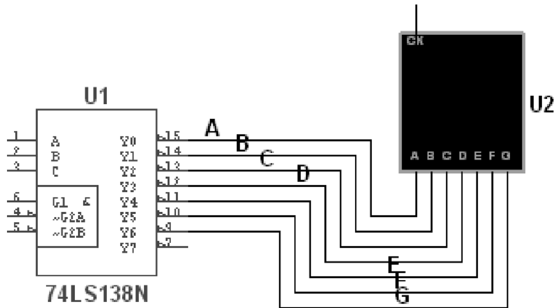


图 4-27　3 线—8 线译码器与七段显示器连接电路

如果利用总线来连接，将两端的单线分别接入总线，构成单线—总线—单线的连接方式，线路就会简单得多。

放置总线的操作过程如下：

（1）执行 Edit \ Place Bus 菜单命令，进入绘制总线的状态。

（2）拖动所要绘制总线的起点，即可拉出一条总线。如要转弯，则单击鼠标左键即可。到达目的地后，双击即可完成该总线，系统自动给出总线名称 Bus1，如图 4-28 所示。

（3）接着绘制器件 U1 各引脚与总线连接的单线，将光标移向所要连接的元器件引脚，待出现一个带十字的圆黑点时单击左键，然后拖动鼠标移向总线，与总线相距一个栅格时单击左键，则出现如图 4-29 所示的总线分支连接对话框。

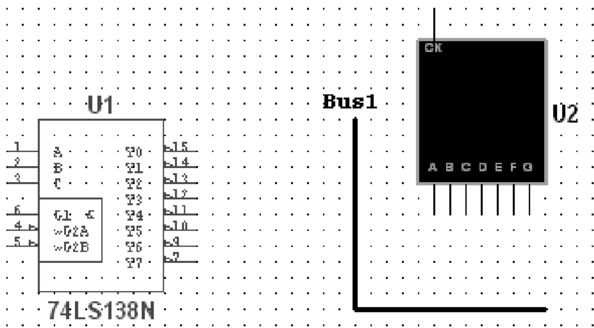


图 4-28　绘制总线操作



图 4-29　总线分支连接对话框

在对话框的 Busline 栏中输入单线的名称，如 ln1，单击 OK 按钮关闭对话框，同时该单线名称出现在单线分支上；接着双击单线弹出如图 4-30 所示对话框，在此对话框中可修改网络名称，如 A。用同样的操作方法可将器件 U1 的各引脚与总线相连，如图 4-31 所示。

（4）绘制 U2 器件与总线连接的单线，将光标移向第二个元器件的引脚，待出现一个带十字的圆黑点时单击左键，然后拖动鼠标移向总线，与总线相交时再单击，则出现如图 4-32 所示的总线分支选择对话框。

依照电路原理，选择对话框的下面栏中相对应的连接线标号，单击 OK 按钮即可完成单线连接。用类似的操作方法将 U2 器件的各引脚与总线相连，如图 4-33 所示。

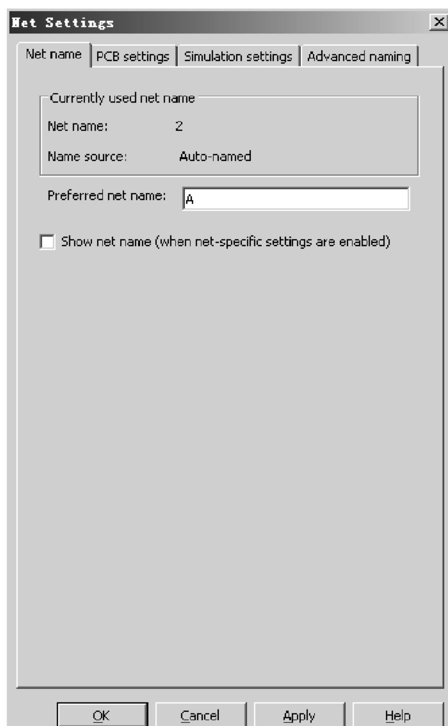


图 4-30　修改网络名称对话框

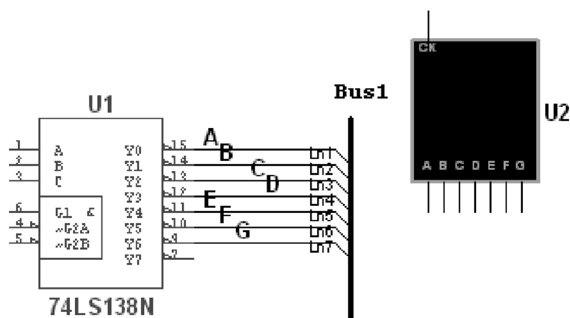


图 4-31　单线与总线的连接

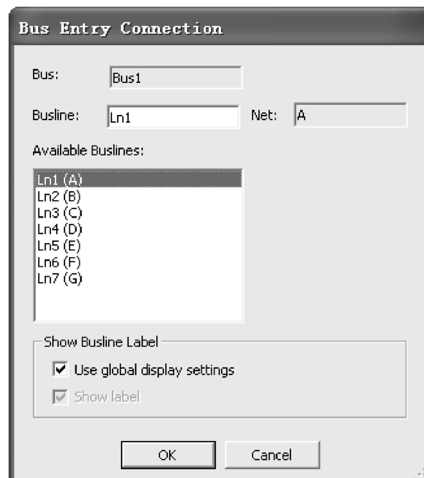


图 4-32　总线分支选择对话框

4.3.6　调整导线位置

在连线的过程中，移动光标到达导线的拐点位置单击，可得到一条自行设定的导线轨迹；如果对已连接好的导线进行调整，可先将光标对准欲调整的导线单击左键，就会在导线上形成一个双箭头的调整符，按住鼠标左键移动导线至适当位置后松开即可，如图 4-34 所示。

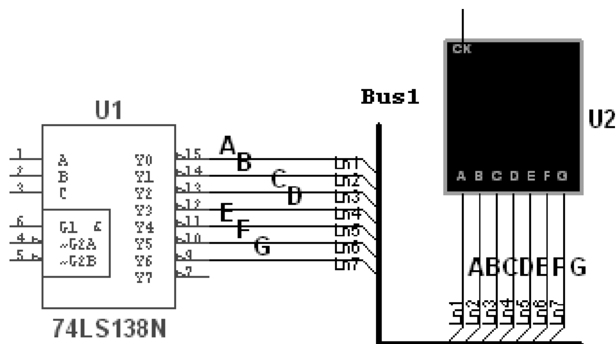


图 4-33　通过总线将两元器件相连

4.3.7　设置连线与节点的颜色

为了使电路各连线及连接点之间彼此清晰可辨，可通过设置不同的颜色来区分，方法是：将光标指向某一连线或节点，单击鼠标右键，出现如图 4-35 所示的右键菜单，选择 Change Color 命令将打开颜色对话框，选取所需的颜色后单击 OK 按钮，这时连线和节点的颜色将同时改变。

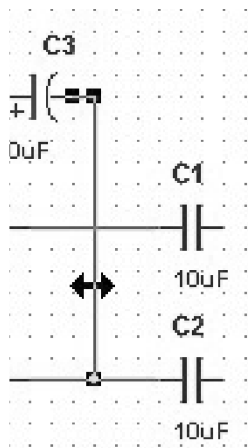


图 4-34　调整总线位置操作

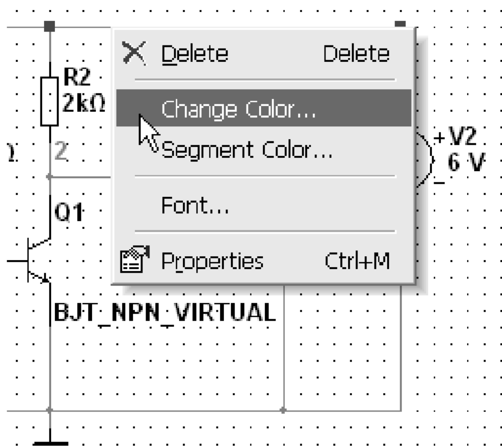


图 4-35　设置导线和节点颜色的快捷菜单

4.3.8　删除连线和节点

如要删除连线或节点，则将光标指向所要删除的连线或节点，单击鼠标右键，弹出图 4-31 所示的右键菜单，选择 Delete 即可。

4.3.9　放置输入/输出端点

一个电路有时要与外电路相连，需要放置与外电路连接的输入/输出端点。此外，输入/输出端点也是子电路连接其上层电路的端点。放置输入/输出端点的步骤如下：

（1）执行 Place\Connector\HB/SC Connector 命令，即可出现一个跟随光标移动的输入/

输出端点，移动光标到适当位置后单击，即可将其放置，如图4-36所示。

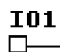


图 4-36 输入/输出端点

（2）这时可以把输入/输出端看成一般的元器件进行适当的连接处理，如改变其名称、旋转、翻转或改变颜色甚至删除等。但要注意，此时输入输出端只相当于只有一个引脚的虚拟元件，其参考序号可以修改，一般是不同电路图之间应具有相同序号的输入/输出端，以表示它们之间的相互连接。

4.4 子电路

在复杂的电路图中经常会包含若干个子电路，什么是子电路？怎样创建子电路？本节就讨论这些问题。

4.4.1 子电路的概念

子电路通常是由几个元件及它们之间的连线组成。它与一个元件相似，只是在电路中作为一个组件，是电路图的一个组成部分。子电路的应用主要有两个方面：一是电路规模很大，在屏幕上显示会分辨不清，这时可将电路的某部分用子电路来表示；二是电路的某部分在一个电路或多个电路中多次使用，若将其视为子电路，使用起来会十分方便。

4.4.2 子电路的创建

Multisim 11 创建与使用子电路很简单，其基本步骤如下：

（1）建立要成为子电路部分的电路图，与其余电路部分相连的端子上必须连接输入/输出端符号。如图4-37所示为一个二极管桥式整流电路，其中包括两个输入端点（I1 及 I2）和两个输出端点（O1 及 O2）。并注意让输入/输出端符号左右方向放置，在子电路中左侧是输入端，而右侧是输出端。

（2）按住鼠标左键，拉出一个长方形，把用来组成子电路的部分电路全部选定。

（3）启动 Place 菜单中的 Replace by Subcircuit，打开如图4-38所示的 Subcircuit Name 对话框。

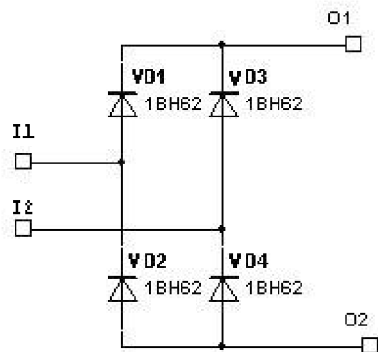


图 4-37 二极管桥式整流电路



图 4-38 Subcircuit Name 对话框

在其编辑栏内输入子电路名称，如 BR，单击 OK 按钮即得如图 4-39 所示的子电路。

（4）取出子电路，移至适当位置后，单击则出现如图 4-40所示的 Subcircuit 对话框。

可以在 RefDes 栏内输入该子电路的序号。如果单击 Edit HB/SC 按钮，则可重新进入该子电路内编辑。

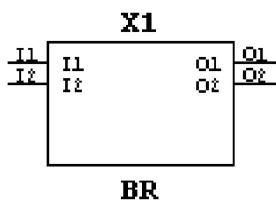


图 4-39　桥式整流子电路



图 4-40　Subcircuit 对话框

4.5　文字编辑

经常需要在电路图中放置一些说明文字，以对某些必要部分添加注释，方便对电路图的阅读和理解。本节介绍有关文字的编辑。

4.5.1　放置文字

在电路图中放置文字的基本步骤为：

（1）执行 Place\Text 命令，光标变为 I 形状，单击左键在电路窗口会出现一个文字框，如图 4-41 所示（如果电路窗口背景为白色，则文字块的边框不可见）。然后单击所要放置文字的位置，将在该处放置一个文字块。



图 4-41　在电路图中放置文字

（2）在文字框中输入所要放置的文字，文字框随文字的多少会自动缩放。输入完成后，

单击此文字框以外的地方，即可得到相应文字，而文字框边框会自动消失。

（3）如果要改变文字的颜色，指针指向该文字框，单击鼠标右键，弹出右键菜单，如图 4-42 所示。选取 Pen Color... 命令，在“颜色”对话框中指定文字颜色。注意：文字的字体和大小不允许改动。

（4）移动或删除文字。光标指向文字，按住鼠标左键，再移动至目的地后放开左键即可完成文字移动。如果要删除文字，则先选取该文字块，单击右键打开右键菜单，选取 Delete 命令。

4.5.2 放置注释

在电路窗口中放置注释可方便地对电路特定的地方就近进行描述性说明，并且在需要查看时才打开，不需要时关闭，不占用电路窗口空间。编写注释的操作很简单，执行 Place\Comment 命令，在光标上就会粘一个，移动光标到合适位置单击左键，就放置了如图 4-43 所示的放置注释描述框，在其中输入需要说明的注释文字（中英文均可），单击左键即完成。这时当光标移出时注释文字会自动隐藏，当光标重新移到时，注释文字即刻显现。

如需对注释文字进行剪切、复制、删除、编辑等操作，可将光标移到上并单击右键，即弹出如图 4-44 所示的右键菜单，执行右键菜单中的相关命令即可。

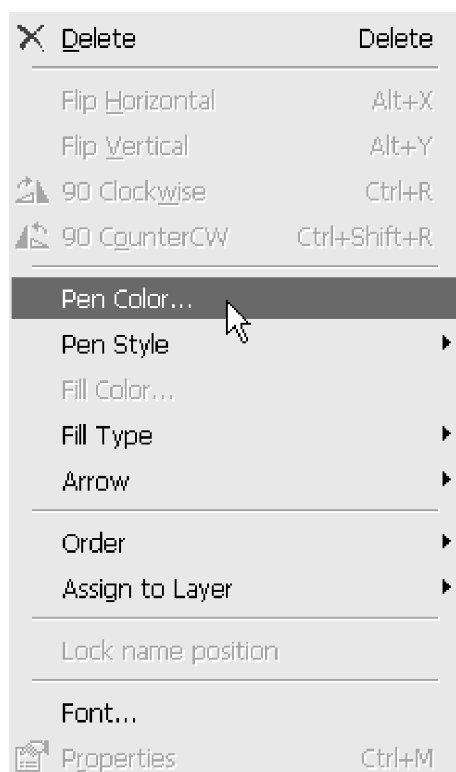


图 4-42 文字框右键菜单



图 4-43　放置注释描述框



图 4-44　注释框的右键菜单

思　考　题

4-1　通过执行什么命令来设置电路原理图的编辑窗口界面？

4-2　在 Preferences 对话框中可对编辑窗口界面作哪些项目设置？

4-3　在 Sheet Properties 对话框中可对图纸作哪些设置？

4-4　说明在电路图中放置元器件的几种方法？

4-5　现实元器件和虚拟元器件有什么区别？

4-6　如何对元器件属性进行编辑？

4-7　如何实现元器件的移动、旋转、删除等操作？

4-8　如何在电路图中放置连线和节点？

4-9　说明绘制总线和总线分支的方法。

4-10　如何创建子电路？子电路有什么用途？

4-11　如何在电路图中放置文字和注释？

4-12　绘制图 4-45 所示的电路图。

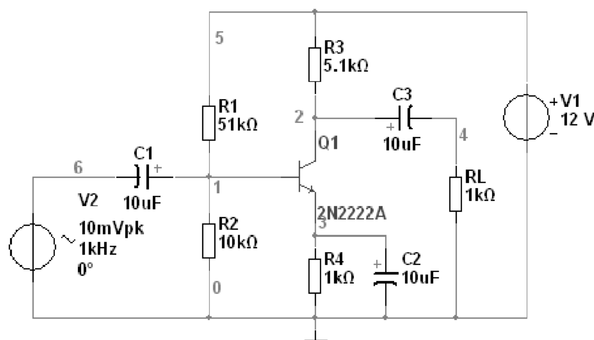


图 4-45　单管放大电路

第 5 章　电子电路仿真分析

在进行电路设计时，设计者总要对电路的性能进行推算、判断和验证，过去常用的方法是数学和物理方法，这两种方法对设计规模较小的电路是可行的，但随着电子工业的迅速发展，电路品种日新月异，规模越来越大，单纯的数学和物理方法已不能满足要求，因而，计算机辅助电路仿真分析已成为电路设计人员的主要助手和工具。

5.1　电子电路仿真的基本原理及注意问题

5.1.1　电路仿真的基本原理

Multisim 11 软件仿真分析方法是建立在 SPICE（Simulation Program for Integrated Circuits Emphasis）程序的基础上，而 SPICE 程序中对电路的每一个元器件，都有其特定的数学模型，元器件之间连接关系是一些数学表达式。因此仿真过程是计算机软件计算用户所建立的电路数学表达式而求得的数值解，元器件模型的精度，就决定了电路仿真结果的精度。

Multisim 11 软件可以对电路做直流和交流的多种分析，电路分析中运用最多、最复杂，而且计算机资源耗费最高的部分是进行动态电路的瞬态分析。所谓动态电路，是指含有储能元器件（电容或电感）的电路。这时，描述电路方程的一般形式将是一个非线性微分方程组，这就必须采用适当的数值积分法进行求解，即将非线性微分方程组转化为非线性代数方程组，然后再用牛顿－拉夫逊迭代法求解。因此，在对非线性电路进行瞬态分析时，要求一个离散值，相当于求解一次非线性代数方程组，即进行若干次（几十次到上百次）牛顿迭代。于是，瞬态分析所需要的总的迭代次数是离散化迭代次数与牛顿迭代次数的乘积，这意味着计算量是很大的。故各种仿真软件均对离散点有一定的限制。

5.1.2　电路仿真分析的方法步骤

Multisim 11 对电子电路进行仿真运行，整个过程可分成 3 个步骤：建立电路、选择分析方法、运行电路仿真。

（1）建立电路：建立用于分析的电路，设置好元器件数据。

（2）选择分析方法：选择进行何种仿真分析，并设置参数。

（3）运行电路仿真：运行电路仿真后，可从测试仪器仪表，如示波器等上获得仿真运行的结果，也可以从分析显示图中看到测试、分析的数据或波形图。

5.1.3　数字电路仿真分析应注意的问题

数字电路运行仿真分析时，为防止出现一些错误的结果，可采取以下措施：

（1）进行数字电路仿真分析设置，即执行 Simulate\Digital Simulation Settings…命令，打开 Digital Simulation Settings 对话框，如图 5-1 所示。

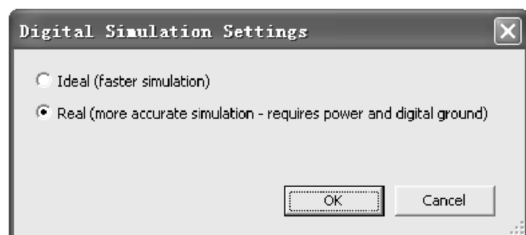


图 5-1　Digital Simulation Settings 对话框

在对话框中有 Ideal 和 Real 两种选择，选择 Ideal 一般能够快速地得到仿真结果，而选择 Real，则需要为数字电路添加电源和数字地。

（2）在运行仿真时，如果数字电路中没有电源和数字地，选择 Real 往往会出现错误，这是因为 Multisim 11 中的现实元件模型与实际器件相对应，在使用时需要为器件本身提供电能。处理方法是在仿真电路窗口内放置数字电源和数字接地端，如图 5-2 所示。

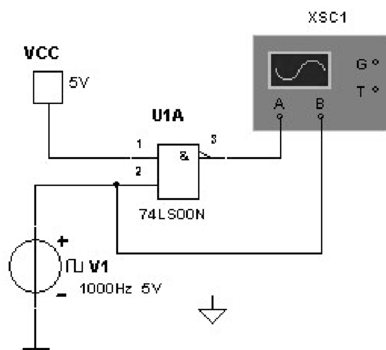


图 5-2　放置数字接地端的电路

（3）在进行 Ideal 数字器件仿真时，V_{CC}、V_{DD}和直流电压源以及接地端和数字接地端可任意调用，彼此对数字电路仿真结果没有影响。

（4）在进行 Real 数字器件仿真时，V_{CC}、V_{DD}和直流电压源以及接地端和数字接地端不能相互替换。含有 CMOS 的电路中，只能用 V_{DD}，它与数字接地端常示意性地放置在电路窗口内，不与电路的任何部分相连接，给 CMOS 器件提供电能。

（5）TTL 和 TIL 中的元件常用 V_{CC}提供电能，其数值一般为 5V。

（6）提供电能给 CMOS 元件的正常工作电压 V_{DD}由各个器件箱所需电压来决定。

5.1.4　仿真过程的收敛和分析失效问题

Multisim 11 在进行仿真分析过程中，会遇见“仿真失败”或“程序不收敛”等问题，常见的有“奇异矩阵（Singular Matrix）”、“Gmin 算法失效”（Gmin stepping failed）、“Source 算法失效”（Source stepping failed）和“达到迭代极限”（Iteration Limit reached）等问题。

如果在进行瞬态分析时，仿真程序不能在给定的初始时间步长条件下达到收敛，该时间步长会自动减小，再次循环迭代。但当时间步长减至太小时，会显示出错信息“时间步长太小”（Time step too small），仿真停止。

“直流工作点分析”也会由于各种原因导致不收敛的情况产生。假定的节点电压的初始值若与实际情况相差太大的话，电路就会显得不稳定（电路仿真方程有多个解），或者产生电路模式的跃变或出现不现实的阻抗。

在解决仿真不收敛或分析方法失效问题时，首先要求分清是采用哪种分析方法所引起的，通常直流工作点分析是所有分析方法中的首选分析方法。

5.1.5 直流工作点分析显示出错时的解决办法

检查电路的结构和连接是否存在问题，要求做到以下几点：

（1）电路连接正确，没有悬空节点和多余的不用元器件。

（2）不要将数值“0”和字母“O”在电路中混淆。

（3）电路必须要有接地点，在电路中的每一个节点对地要有直流通路，确保电路不被变压器或电容等元器件对地完全隔绝。

（4）电容器和电流源不能以串联形式连接。

（5）电感器和电压源不能以并联形式连接。

（6）电路中所有的元器件和信号源设置数值必须恰当、合适。

（7）所有受控源（相关源）的增益设置必须正确。

（8）要求正确引入元器件模型和子电路。

5.1.6 在瞬态分析中仿真不收敛或分析失效问题的检查步骤

（1）检查电路的结构和连接是否存在问题，要求与“直流工作点分析出错”时相同的步骤进行检查和修正。

（2）将“分析选项”的“相对误差精度”（RELTOL）值设置为0.01，减少迭代量使仿真过程加快。

（3）增加“分析选项”的“瞬态（Transient）分析栏”中“瞬态时间点迭代次数”（ITL4）值设置为100，增加迭代次数。

（4）在电路节点电流精度容许的范围内，降低“分析选项”的“绝对误差精度”（VNTOL）值，在实际电路中的电压和电流值的精度一般不会低于1μV和1pV时，可以将它设定在比实际估计的电压和电流值小一个数量级。

（5）电路仿真时，尽量模拟实际情况。譬如考虑结电容的影响，用子电路来替代有些器件模型，如高频器件和功率器件。

（6）若在电路中使用受控单脉冲信号源，应增加其上升和下降时间。

（7）将“分析选项”的“瞬态（Transient）分析栏”中的积分方法设为Gear（变阶积分法），虽然Gear积分方法需要时间较长一些，但通常比Trapezoid（梯形法）更稳定一些。

5.2 直流工作点分析

直流工作点分析（DC Operating Point Analysis）是进行电路其他分析的基础，在进行直流工作点分析时，软件将交流电源视为零，电容视为开路，电感视为短路。具体分析步骤如下：

5.2.1 建立要分析的电路

例如我们要建立如图5-3所示单管放大电路，并把电路的节点标志显示在电路图上。

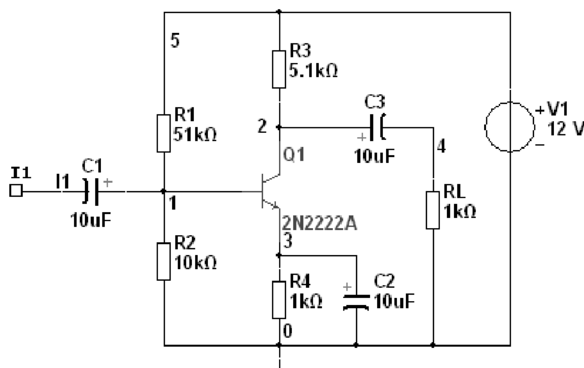


图 5-3　单管放大电路

5.2.2　分析设置

执行“Simulate\ Analysis\DC Operating Point”命令，弹出如图 5-4 所示的直流工作点分析对话框，该对话框包括 Output、Analysis Options 及 Summary 共 3 个标签页。

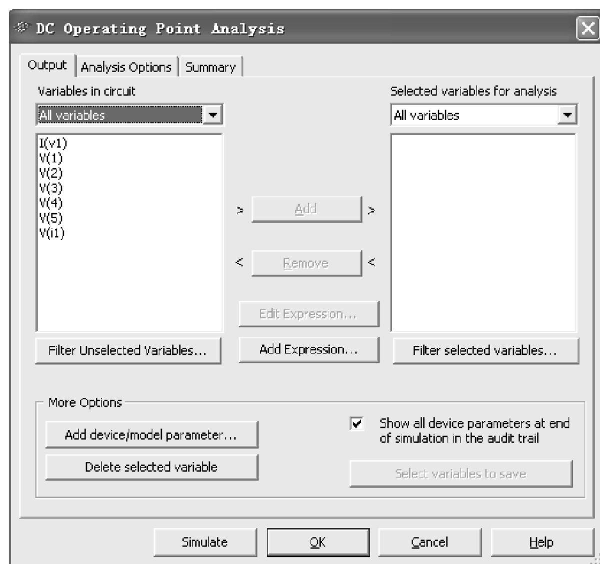


图 5-4　直流工作点分析对话框

下面对 3 个标签页加以介绍：

（1）Output 标签页：设置所要分析的节点和电源支路。

1）Variables in circuit 栏：用于选择电路变量。栏内默认状态列出的是电路中可用于分析的节点以及流过电压源的电流等全部变量，如果不需要这么多的变量显示，可单击 Variables in circuit 下面选择栏的下箭头按钮，出现如图 5-5 所示的变量类型选择表。

其中 Static Probes 是仅显示静态探针变量，Voltage and current 是仅显示电压和电流变量，Voltage 仅显示电压变量，Current 仅显示电流变量，Device/Model Parameters 显示的是元器

件/模型参数变量，A11 variables 则显示程序自动给出的全部变量。

如果还需显示其他参数变量，可单击该栏下的 Filter Unselected Variables... 按钮，可对程序没有自动选中的某些变量进行筛选。单击此按钮，出现如图 5-6 所示的对话框。

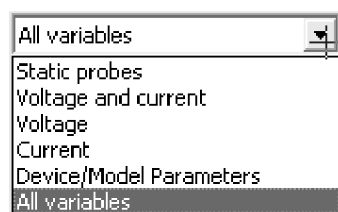


图 5-5　变量类型选择表

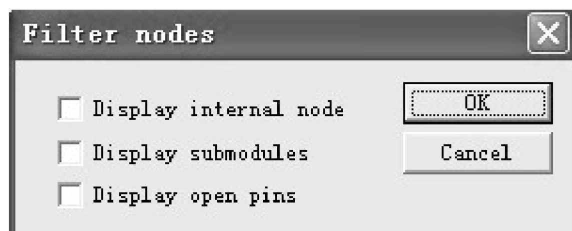


图 5-6　筛选节点对话框

该对话框有 3 个选项：Display internal nodes 选项的功能是显示内部节点，Display submodules 选项的功能是显示子模型的节点，Display open pins 选项的功能是显示开路的引脚（即没被用到的引脚）。选中者将与节点等变量同时出现在栏内。

2）Selected variables for analysis 栏：用来确定需要分析的节点。默认状态下为空，需要用户从 Variables in circuit 中选取，方法是：首先选中左边的 Variables in circuit 栏中需要分析一个或多个变量，再单击 Add 按钮，则这些变量出现在 Selected variables for analysis 栏中。如果不想分析其中已选中的某一个变量，可先选中该变量，单击 Remove 按钮即将其移回 Variables in circuit 栏内。

该栏下方的 Filter Selected Variables 按钮与 Filter Unselected Variables 按钮类似，不同之处在于前者只能筛选由后者已经选中且放在 Selected Variables for analysis 栏的变量。

图 5-4 所示对话框下部的 More Options 区中的两个按钮作用分别为：

1）Add device/model parameter 是在 Variables in circuit 栏内增加某个元器件/模型的参数。单击该按钮，出现如图 5-7 所示的对话框。

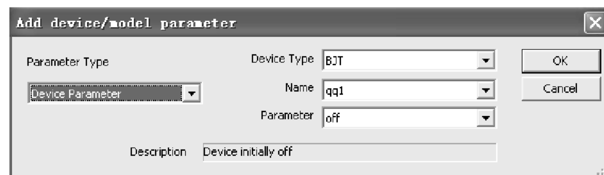


图 5-7　增加元器件/模型的参数对话框

可在 Parameter Type 栏内指定所要新增参数的形式是 model Parameter 或是 Device Parameter；然后分别在 Device Type 栏内指定元器件模块的种类，在 Name 栏内指定元器件名称（序号），在 Parameter 栏内指定所要使用的参数。

2）Delete selected variables 是删除已通过 Add device/model parameter 按钮选择到 Varia-

bles in circuit 栏内且不再需要的变量。首先选中变量，然后单击该按钮即可删除。

（2）Analysis Options 标签页：与仿真分析有关的其他分析选项设置页，如图 5-8 所示。

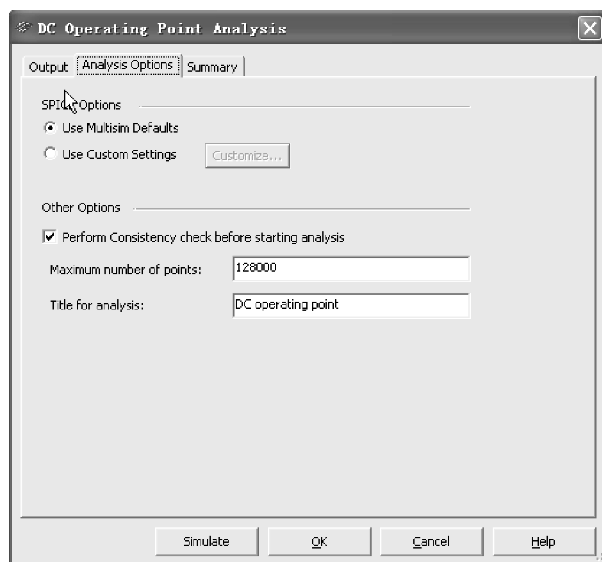


图 5-8　Analysis Options 标签页

其中 Use Multisim Defaults 是采用系统默认选项，Use custom Settings 是采用用户所设定的选项。大部分分析项目应该采用默认值，如果想要改变其中某一个分析选项，则选中 Use custom Settings 选项。

在 Other Options 区中，选择 Perform Consistency check before starting analysis 项，表示在开始分析之前要先进行一致性检查。Maximum number of Points 栏用来设定最多的取样点数。Title for analysis 栏用来输入所要进行分析的名称。

（3）Summary 标签页：对分析设置进行汇总确认，如图 5-9 所示。

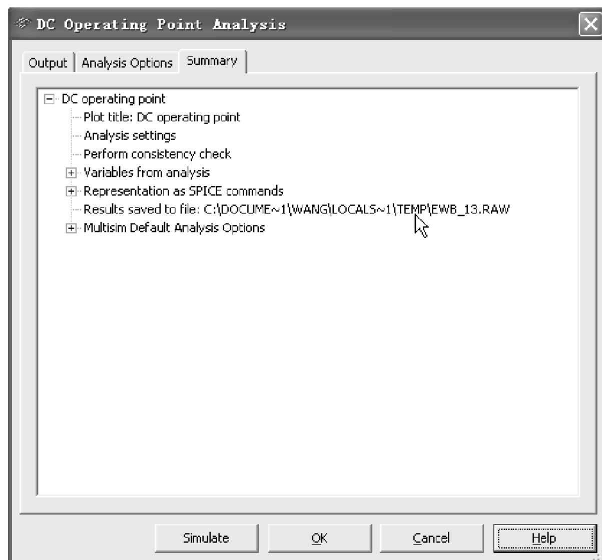


图 5-9　Summary 标签页

在 Summary 标签页中，程序给出了所设定的参数和选项，用户可确认检查所要进行的分析设置是否正确。

5.2.3 仿真分析

分析设置完毕后，单击图 5-4 对话框下部的 Simulate 按钮即可进行分析。本例直流工作点分析结果如图 5-10 所示。

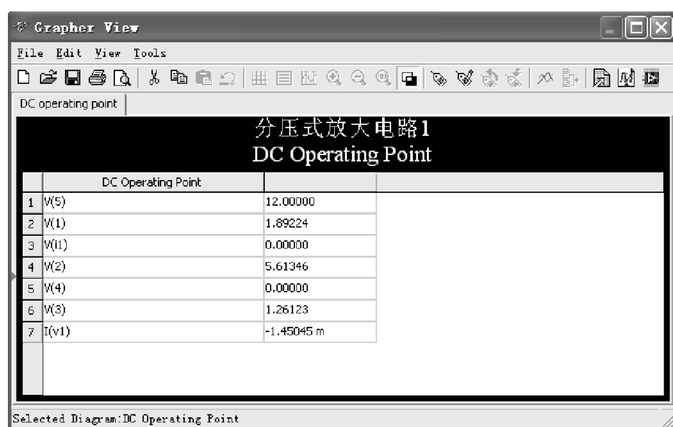


图 5-10 直流工作点分析结果

如果不想立即进行分析，而要保存设定的话，可单击 OK 按钮；如果要放弃设定，则单击 Cancel 按钮即可。

5.3 交流分析

交流分析（AC Analysis）是一种频域分析，就是把用户指定的交流输出量作为频率的函数来计算。

进行交流分析时程序自动先对电路进行直流工作点分析，以便建立电路中非线性元件的交流小信号模型，并把直流电源置零，交流信号源、电容及电感等元件用其交流模型，如果电路中含有数字元件，将认为是一个接地的大电阻。交流分析是以正弦波为输入信号，不管我们在电路的输入端输入何种信号，进行分析时都将自动以正弦波替换，而其信号频率也将以设定的范围替换之。交流分析的结果，以幅频特性和相频特性两个图形显示。如果将扫频仪连至电路的输入端和被测节点，也可获得同样的交流频率特性。

交流分析的步骤如下：

5.3.1 建立要分析的电路

分析电路仍采用分压式放大电路，如图 5-11 所示。

5.3.2 分析设置

执行 Simulate\ Analysis\ AC Analysis 命令，弹出如图 5-12 所示的交流分析对话框，该对

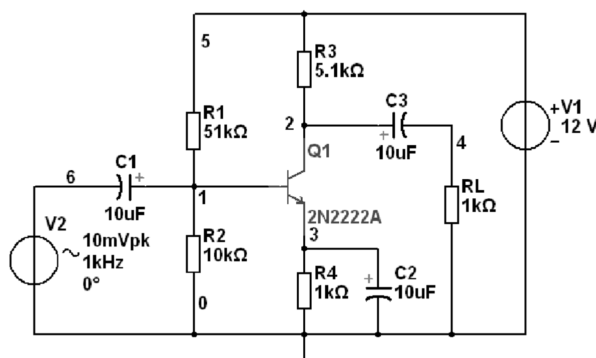


图 5-11　单管放大电路

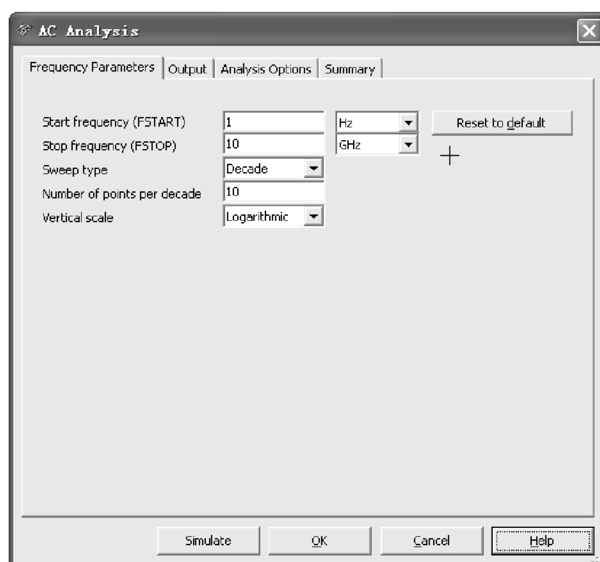


图 5-12　交流分析对话框

话框包括 Frequence Parameters、Output、Analysis Options 及 Summary 共 4 个标签页。除了 Frequency Parameters 标签页外，其余 3 个与直流工作点分析的设置一样，不再赘述。

Frequency Parameters 页中包含下列项目：

（1） Start frequency：设置交流分析的起始频率。

（2） Stop frequency（FSTOP）：设置交流分析的终止频率。

（3） Sweep type：设置交流分析的扫描方式，包括 Decade（10 倍程扫描） 和 Octave（8 倍程扫描） 及 Linear（线性扫描）。通常采用 10 倍程扫描（Decade 选项），以对数方式展现。

（4） Number of points per decade：设置每 10 倍频率的取样数量。

（5） Vertical scale：从该下拉菜单中选择输出波形的纵坐标刻度，其中包括 Decibel（分贝）、Octave（8 倍）、Linear（线性） 及 Logarithmic（对数）。通常采用 Logarithmic 或 Decibel 选项。

按下Reset to default按钮，把所有设置恢复为程序默认值。

对于单管放大电路，设起始频率为 1Hz，终止频率为 10GHz，扫描方式设为 Decade，取样值设为 10，纵轴坐标设为 Logarithmic。另外，在 Output 标签页里，选定分析节点 4；在 Analysis Options 标签页，Title for analysis 栏输入“AC Analysis”。

5.3.3 仿真分析

分析设置完毕后，单击图 5-12 对话框下部的 Simulate 按钮即可进行分析。本例交流分析结果如图 5-13 所示。

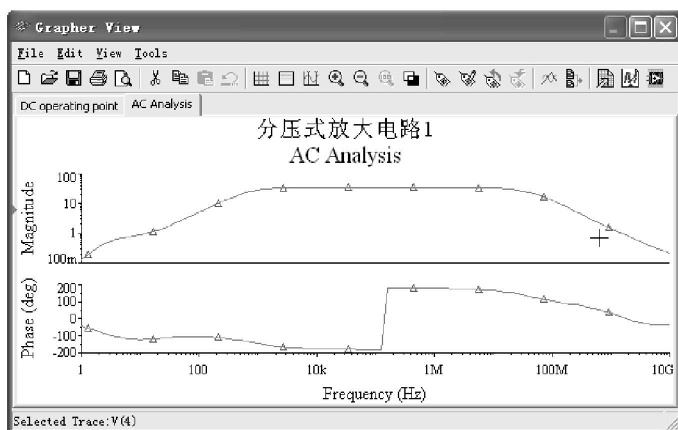


图 5-13　交流分析结果

从图 5-13 所示的结果中发现，幅频特性的纵轴用该点电压值来表示。这是因为不管输入的信号源的数值多少，程序一律将其视为一个幅度为单位 1 且相位为零的单位源，这样从输出节点取得的电压的幅度就代表了增益值，相位就是输出与输入之间的相位差。

5.4 瞬态分析

瞬态分析（Transient Analysis）指对所选定的电路节点进行的时域响应分析。即观察节点在整个显示周期中每一时刻的电压波形。在进行瞬态分析时，直流电源具有恒定的数值，交流电源的数值随时间而变化，电容和电感都具有储能的特性。分析时，电路的初始状态可由用户自行指定，也可由程序自动进行直流分析，用直流解作为电路初始状态。瞬态分析的结果通常是分析节点的电压波形，故用示波器可观察到相同的结果。

瞬态分析的具体步骤如下：

5.4.1 建立要分析的电路

建立如图 5-14 所示振荡电路，作为分析的电路。

5.4.2 分析设置

执行 Simulate\ Analysis\Transient Analysis 命令，弹出如图 5-15 所示的 Transient Analysis

对话框。

该对话框中包括 4 个标签页，同样除了 Analysis Parameters 标签页外，其余标签页与直流工作点分析的设置一样。而在 Analysis Parameters 标签页中则包括如下项目：

（1） Initial conditions 区：其功能是设置初始条件，包括以下选项：

1） Automatically determine initial conditions：由程序自动设置初始值。

2） Set to zero：初始值设置为 0。

3） User defined：由用户定义初始值。

4） Calculate DC operating point：通过计算直流工作点得到的初始值。

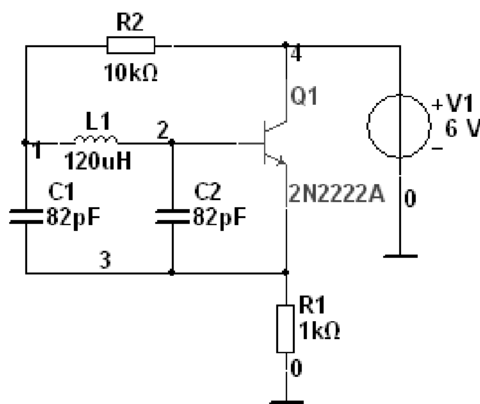


图 5-14　振荡电路

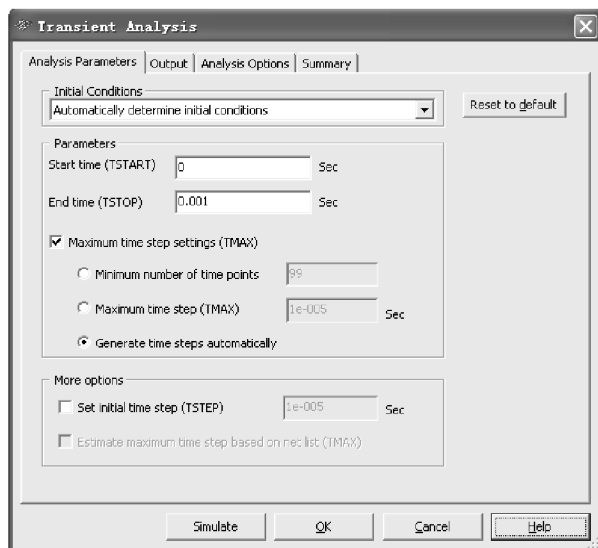


图 5-15　Transient Analysis 对话框

（2） Parameters 区：本区的功能是对时间间隔和步长等参数进行设置。包括：

1） Start time：设置开始分析的时间。

2） End time：设置结束分析的时间。

3） Maximum time step settings：最大时间步长设置。

4） Minimum number of time points：设置指定单位时间间距内最少要取样的点数，作为设置时间内的分析步长。在右边栏指定单位时间间距内最少要取样的点数。

5） Maximum time step （TMAX）：设置以时间间距设置分析的步长，选取该选项后，在右边栏指定最大的时间间距。

6） Generate time steps automatically：设置由程序自动决定分析的时间步长。

（3） More options 区：本区 Set initial time step 选项由用户决定是否自行确定起始时间步

长；如不选择，则由程序自动约定；如选择，则在其右边栏内输入步长大小。Estimate maximum time step based on net list 用来决定是否根据网络表来估算最大时间步长。

单击Reset to default按钮可将所有设置恢复为默认值。

结合图 5-14 所示分析电路，我们选取 Automatically determine initial conditions 选项，由程序自动设定初始值，然后将开始分析的时间设为 0，结束分析的时间设为 0.001s，选取 Minimum number of time points 选项为 99。另外，在 Output 标签页中，选择节点 2 作为分析变量；在 Analysis Options 标签页的 Title for analysis 栏内输入“Transient Analysis”。

5.4.3 仿真分析

分析设置完毕后，单击图 5-15 对话框下部的Simulate按钮即可进行分析。本例瞬态分析分析结果如图 5-16 所示。

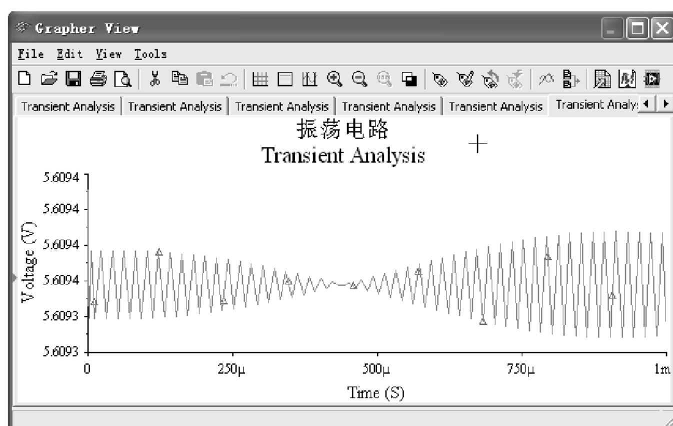


图 5-16 瞬态分析分析结果

5.5 傅里叶分析

傅里叶分析是对时域信号的直流分量、基波分量和谐波分量组成的评价，即把被测节点的时域变化信号做离散傅里叶变换，求出它的频域变化的规律。Multisim 11 能自动地由时域分析产生频域分析的结果。

在进行傅里叶分析时，必须首先选被分析的节点，一般将电路的交流电源的频率设定为基波频率，如果电路中有几个交流电源，可以将基频设定在这些频率的最小公因数上，如电路有 10.5kHz 和 3kHz 两个交流激励电源信号，应设定 0.5kHz 作为基频。

傅里叶分析的具体步骤如下：

5.5.1 建立要分析的电路

如图 5-17 所示方波信号电路，观测频率为 2kHz 方波信号的傅里叶变换图。

5.5.2　分析设置

执行 Simulate\ Analysis\ Fourier Analysis 命令，弹出如图 5-18 所示的 Fourier Analysis 对话框。

该对话框包含有 4 个标签页，除了 Analyses Parameters 标签页外，其余标签页与直流工作点分析的设置相同，Analyses Parameters 标签页中包括如下项目：

（1）Sampling options 区：该区是对傅里叶基本参数进行设置。

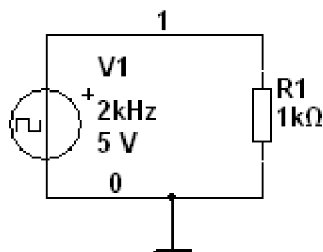


图 5-17　方波信号电路

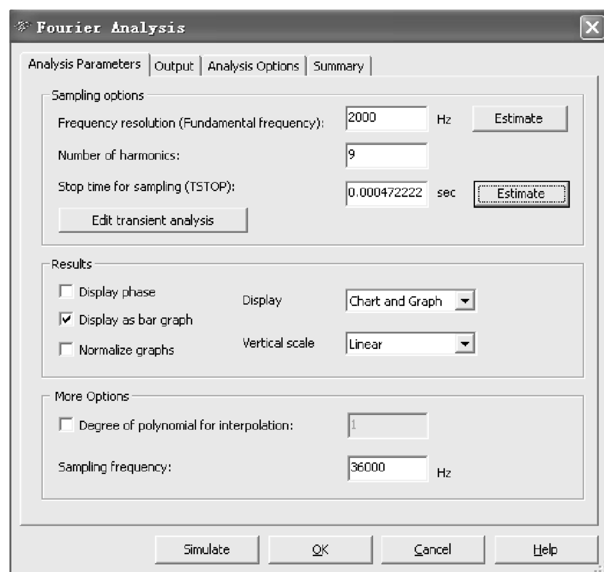


图 5-18　Fourier Analysis 对话框

1）Frequency resolution（Fundamental Frequency）：设置基频。如果电路之中有多个交流信号源，则取各信号源频率的最小公倍数。如果不知道如何设置时，可单击 Estimate 按钮，由程序自动设置。

2）Number of harmonics：设置希望分析的谐波的次数。

3）Stop time for sampling（TSTOP）：设置停止取样的时间。如果不知道如何设置时，也可以单击 Estimate 按钮，由程序自动设置。

本例中设置基频为 2000Hz，谐波的次数取 9，单击 Estimate 按钮，程序自动给出停止取样的时间为 0.000472222，同时在 Output 页中选择节点 1 作为分析变量；在 Analyses Options 页的 Title for analysis 栏内输入“Fourier Analysis”。

单击 Edit transient analysis 按钮，弹出瞬时分析对话框，如图 5-19 所示的对话框。

该对话框中的各项设置均与时域瞬时分析相同。

（2）Results 区：该区用来选择仿真结果的显示方式。包括：

1）Display phase：设置显示幅度频谱及相位频谱。

2）Display as bar graph：设置以线条绘出频谱图。

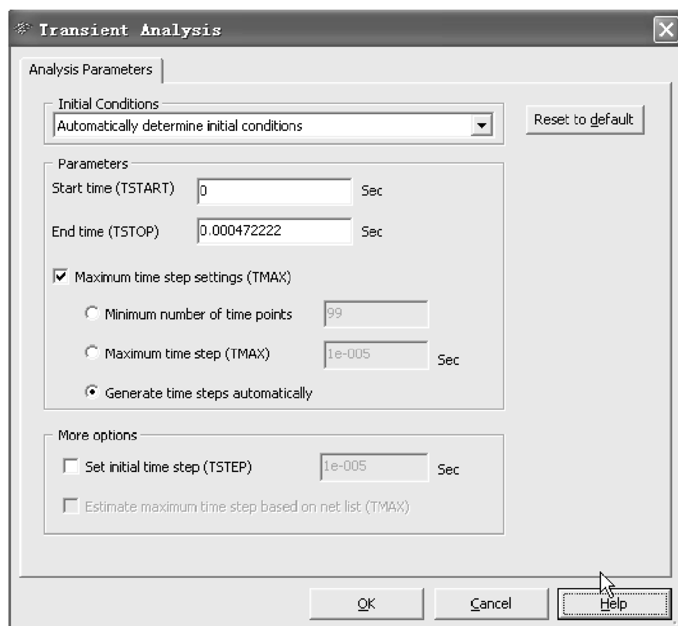


图 5-19　Transient Analysis 对话框

3） Normalize graphs：设置绘出归一化频谱图。

Display 栏：选择所要显示的项目，包括 3 个选项：Chart（图表）、Graph（曲线）及 Chart and Graph（图表和曲线）。

Vertical Scale 栏：选择频谱的纵轴刻度，其中包括 Decibel（分贝刻度）、Octave（作出八倍刻度）、Linear（线性刻度）及 Logarithmic（对数刻度）。

（3） More Options 区：该区内有两个选项，介绍如下：

1） Degree of polynomial for interpolation 选项的功能是设置多项式的维数，选中该选项后，可在其右边栏中输入维数值。多项式的维数越高，仿真运算的精度也越高。

2） Sampling frequency 的功能是设置取样频率。

5.5.3　仿真分析

分析设置完毕后，单击图 5-18 对话框下部的 Simulate 按钮即可进行分析。分析结果根据设置选项不同而不同。

1） 如果在图 5-18 对话框的 Results 区，只选中 Display phase，同时在 Display 栏选择显示 Chart and Graph（图表和曲线），在 Vertical 栏选择频谱的纵轴刻度为 Linear（线性刻度）。分析结果的图表和曲线如图 5-20 所示。

2） 如果在图 5-18 对话框的 Results 区，同时选中 Display phase 和 Display as bar graph，在 Display 栏选择显示 Chart and Graph（图表和曲线），在 Vertical 栏选择频谱的纵轴刻度为 Linear（线性刻度）。分析结果的图表和曲线如图 5-21 所示。

3） 如果在图 5-18 对话框的 Results 区，同时选中 Display as bar graph 和 Normalize graphs，在 Display 栏选择显示 Chart and Graph（图表和曲线），在 Vertical 栏选择频谱的纵轴刻度为 Linear（线性刻度）。分析结果的图表和曲线如图 5-22 所示。

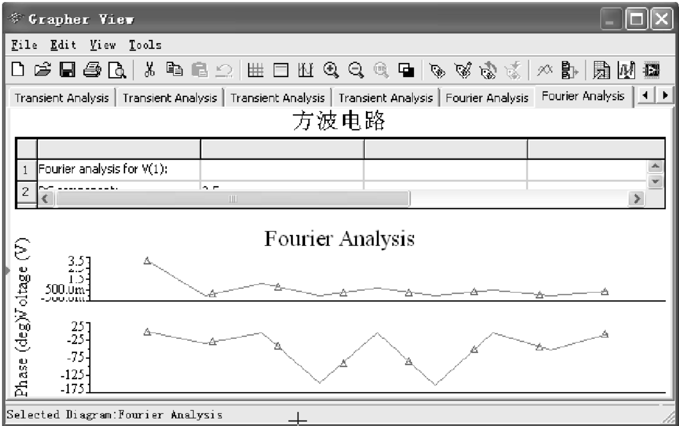


图 5-20　只选中 Display phase 项时分析结果

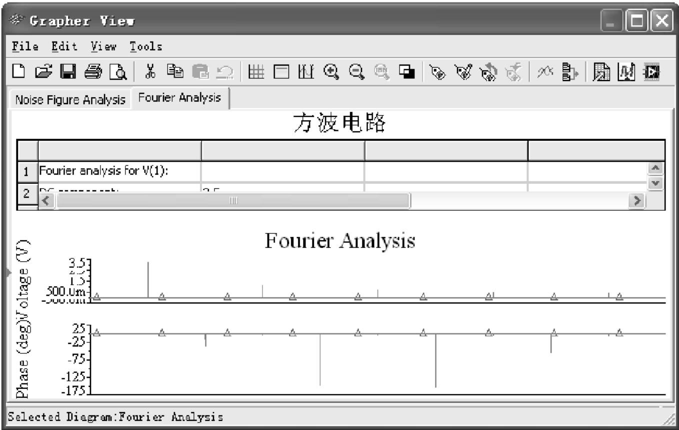


图 5-21　选中 Display as bar graph 时分析结果

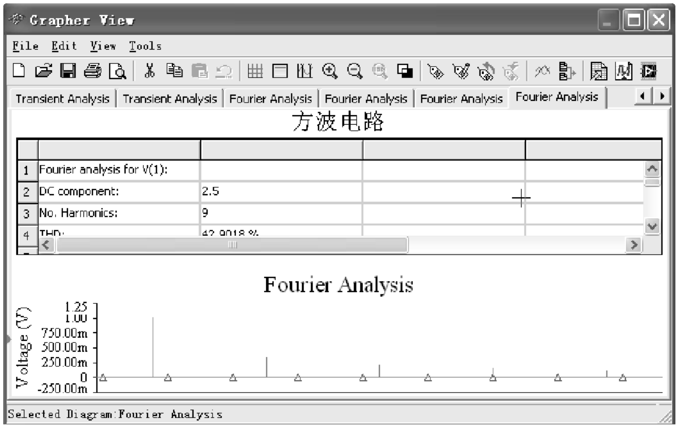


图 5-22　选中 Display as bar graph 和 Normalize graphs 时分析结果

5.6　噪声分析

噪声分析（Noise Analysis）用于检测电路输出信号的噪声功率幅度，分析计算由电阻和半导体器件噪声对电路的影响。Multisim 11 提供了热噪声（Thermal noise）、散弹噪声（Shot noise）和闪烁噪声（Flicker noise）3 种不同的噪声模型。在分析时，假设电路中各噪声源是互不相关的，因此它们的数值可以分开各自计算。总噪声是各个噪声在该节点的有效值之和。

如果选择 V1 作为输入噪声源，选择 N1 是输出节点，那么电路中由 N1 提供的输出噪声值除以 V1 到 N1 的增益值，即可得到输入噪声。

5.6.1　建立要分析的电路

如图 5-23 所示晶体管放大电路，观测噪声分析的设置及其输出结果。

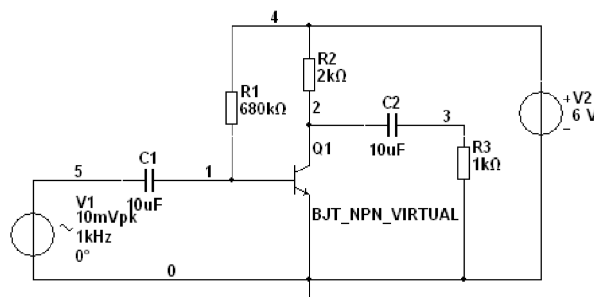


图 5-23　晶体管放大电路

5.6.2　分析设置

当要进行噪声分析时，可执行 Simulate\Analyses\Noise Analysis 命令，出现 Noise Analysis 对话框，如图 5-24 所示。

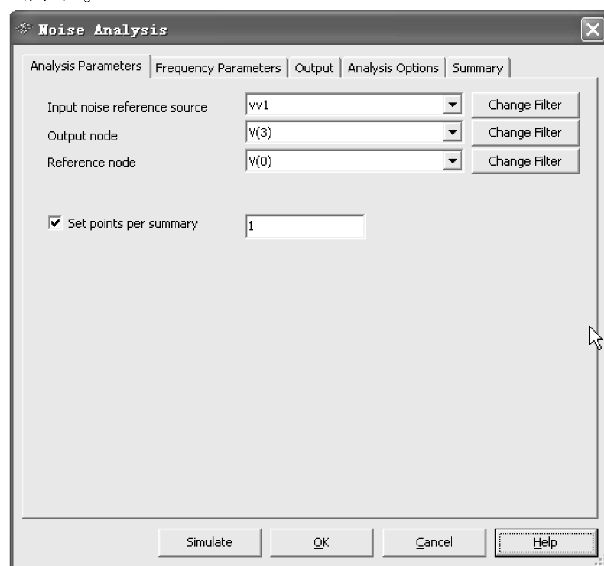


图 5-24　Noise Analysis 对话框

该对话框中包括 5 个标签页，除了 Analysis Parameters 和 Frequency Parameters 标签页外，其余 3 个标签页与直流工作点分析的设置相同。

（1） Analysis Parameters 标签页：用来设置将要分析的参数，包括下列项目：

1） Input noise reference source：选择输入噪声的参考电源。这里选择交流信号源 VV1（表示电压交流信号源 V1）。

2） Output node：选择噪声输出节点。这里选节点 3。

3） Reference node：设置参考电压的节点，通常取 0（接地）。

4） Setpoint per summary：设置每个汇总的取样点数。当选中时，将产生所选噪声量曲线。在右边栏内输入频率步进数，数值越大，输出曲线的解析度越低。

在该标签页右边的 3 个 Change Filter 分别对应于其左边的栏，其功能是可对程序没有自动选中的某些变量进行筛选。

本分析电路 Input noise reference source 栏内选择 vvl，Output node 栏内选择节点 3，Reference node 栏仍为 0，选中 Set point per summary 则得到噪声曲线。

（2） Frequency Parameters 标签页如图 5-25 所示。

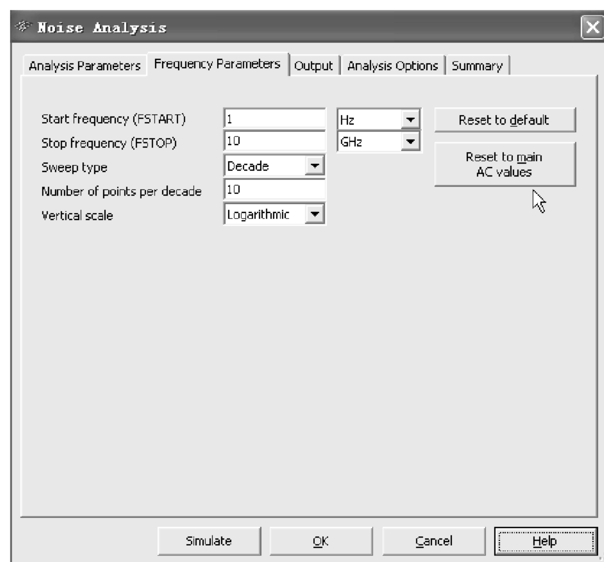


图 5-25　Frequency Parameters 标签页

该标签页主要是对扫描频率等参数进行设置。包括着下列项目：

1） Start frequency （FSTART）：设置扫描开始频率。

2） Stop frequency （FSTOP）：设置扫描结束频率。

3） Sweep type：选择扫描方式，其中包括 Decade （10 倍程扫描）、Octave （8 倍程扫描） 和 Linear （线性扫描）。

4） Number of points per decade：设置每十倍频率的取样点数。

5） Vertical scale：选择纵轴刻度，其中包括 Decibel （dB）、Octave （8 倍）、Linear （线性） 及 Logarithmic （对数），通常采用 Logarithmic （对数） 或 Decibel （dB）。

按钮 Reset to main AC values 用来将所有设置恢复为与交流分析相同的设置值。

按钮 Reset to default 用来将本标签页的所有设置恢复为默认值。

通常只要设定起始频率及终止频率，而其他保持不变即可。

对于本分析电路，保持此页为默认值。同时在 Output 标签页中选择 inoise _ spectrum 和 onoise _ spectrum 为分析变量；在 Analysis Options 标签页的 More Options 区的 Title for analysis 栏内输入“Noise Analysis”。

5.6.3 运行仿真分析

分析设置完毕后，单击图 5-24 对话框下部的 Simulate 按钮即可进行分析。其仿真分析结果如图 5-26 所示。

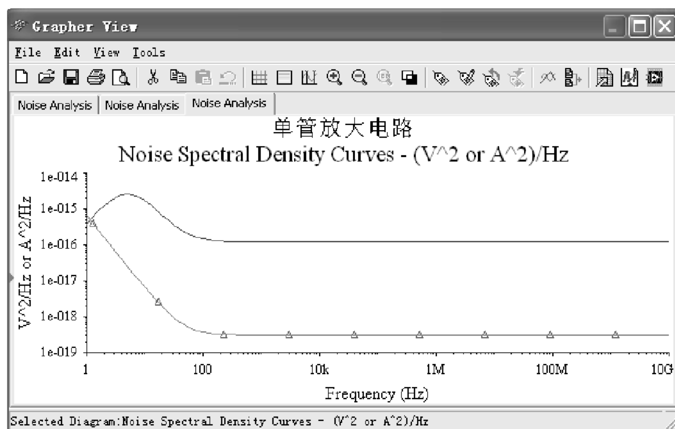


图 5-26　噪声仿真分析结果

5.7 噪声系数分析

5.7.1 噪声系数分析设置

噪声系数分析仍采用图 5-23 所示晶体管放大电路。

进行噪声系数分析时，可执行 Simulate\Analyses\Noise Figure Analysis 命令，出现 Noise Figure Analysis 对话框，如图 5-27 所示。

该对话框中包括 3 个标签页，除了 Analysis Parameters 标签页外，其余 2 个标签页与直流工作点分析的设置相同。Analysis Parameters 标签页的选项和设置要求与噪声分析 Analysis Parameters 标签页基本相同，只是多了 Frequency（设置输入信号频率）和 Temperature（设置输入温度，单位是摄氏度，默认值是 27℃）。

5.7.2 运行仿真分析

分析设置完毕后，单击图 5-27 对话框下部的 Simulate 按钮即可进行分析。其仿真分析结果如图 5-28 所示。

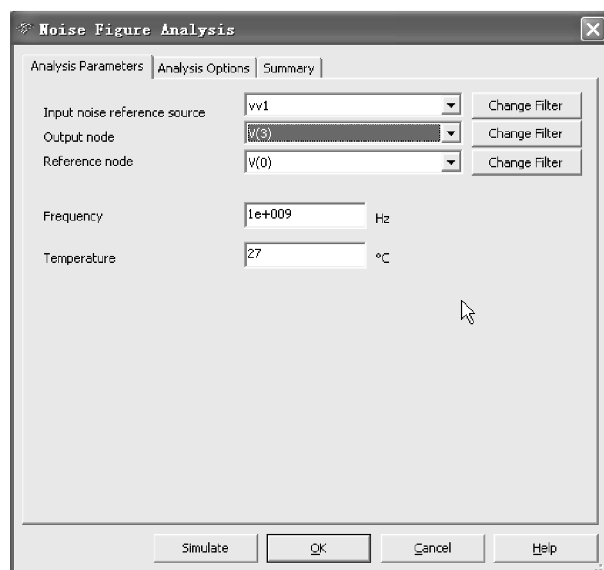


图5-27　Noise Figure Analysis 对话框

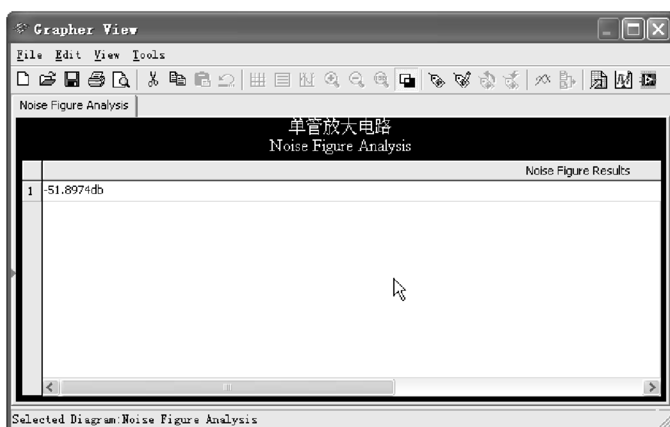


图5-28　噪声系数仿真分析结果

5.8　失真分析

失真分析（Distortion Analysis）是分析电路的非线性失真及相位偏移，通常非线性失真会导致谐波失真；而相位偏移会导致互调失真。Multisim 可以分析小信号模拟电路的谐波失真和互调失真。如果电路中只有一个交流电源，该分析将确定电路中每一点的二、三次谐波造成的失真。如果电路中有频率分别为 F1 和 F2 的两个不同频率的交流电源（设 F1 > F2），则该分析将寻找电路变量在（F1 + F2）、（F1 − F2）及（2F1 − F2）3 个不同频率上的谐波失真。

失真分析对于研究瞬态分析中不易观察到的小失真比较有效。

失真分析的具体步骤如下：

5.8.1　建立要分析的电路

如图 5-29 所示单管放大电路，晶体管选用 2N2222A，输入信号为两个不同频率的交流信号。

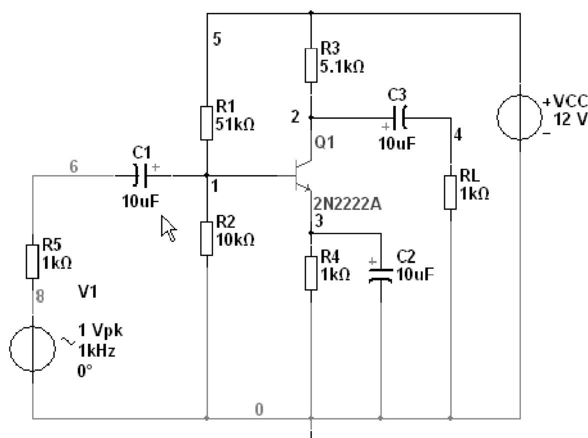


图 5-29　单管放大电路

5.8.2　分析设置

当要进行失真分析时，可执行 Simulate\Analyses\Distortion Analysis 命令，会出现如图 5-30所示的对话框。

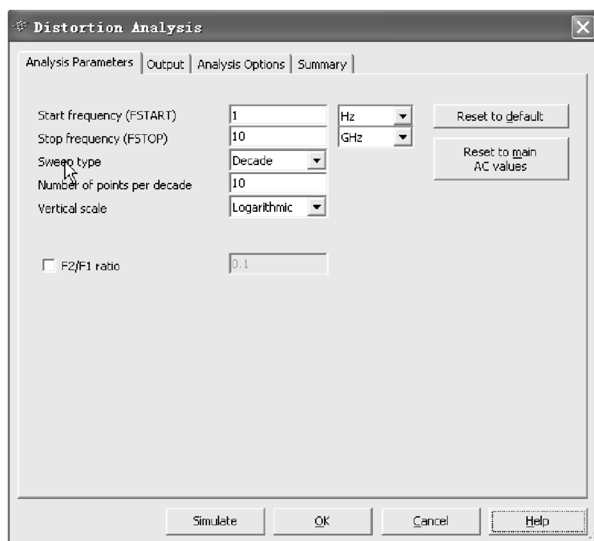


图 5-30　Distortion Analysis 分析对话框

该对话框中包括 4 个标签页，除了 Analysis Parameters 标签页外，其余 3 个标签页与直流工作点分析的设置相同。

Analysis Parameters 标签页包括下列项目：

（1） Start frequency：扫描起始频率，默认设置为：1Hz。

（2） Stop fequency（FSTOP）：扫描终点频率，默认设置为：10GHz。

（3） Sweep type：选择扫描方式，其中包括：Decade（10倍程扫描）、Octave（8倍程扫描）及Linear（线性扫描）。默认设置为：十进制。

（4） Number of points per decade：设置每10倍频率的取样点数。默认设置为：10。

（5） Vertical scale：选择纵轴刻度，其中包括：Decibel（分贝）、Octave（八倍）、Linear（线性及Logarithmic（对数），通常采用Logarithmic（对数）或Decibel（分贝）选项。

（6） F2/F1 ratio：在进行电路内部互调失真分析时，设置F2与F1的比值。注意：这里的F1是对话框中设置的频率范围，而F2为开始频率与F2/F1比值的乘积。如选取该项，则在右边的栏内输入F2/F1的比值，该值必须在0到1之间。当不选择该项时，分析结果为F1作用时产生的二次谐波、三次谐波失真。而当选择该项时，分析结果为（F1 + F2）、（F1 - F2）及（2F1 - F2）相对于频率F1的互调失真。

按钮Reset to main AC values是将所有设置恢复为与交流分析相同的设置值。

按钮Reset to default是将本标签页的所有设置恢复为默认值。

对于本分析电路，对话框中Analysis Parameters标签页上的选项都取默认值，而在Output variables页上选取节点4为输出变量，在Analysis Options标签页的More Options区的Title for analysis栏内输入“Distortion Analysis”。

5.8.3　运行仿真分析

分析设置完毕后，单击图5-30对话框下部的 Simulate 按钮即可进行分析，其仿真分析结果如图5-31所示。

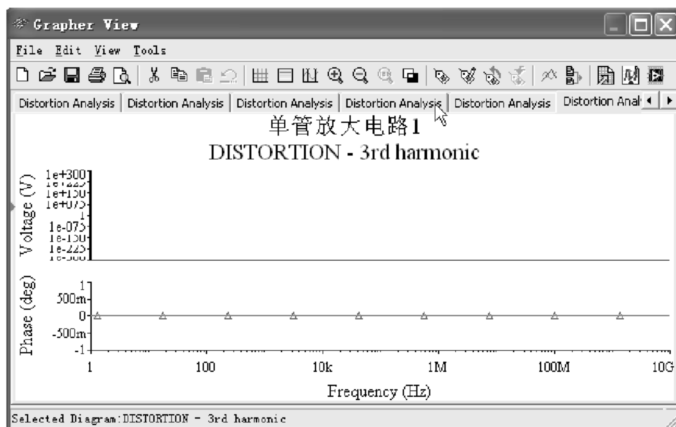


图5-31　失真分析结果

5.9　直流扫描分析

直流扫描分析（DC Sweep Analysis）是计算电路中某一节点上的直流工作点随电路中一

个或两个直流电源的数值变化的情况。利用直流扫描分析，可快速地根据直流电源的变动范围确定电路直流工作点。它的作用相当于每变动一次直流电源的数值，则对电路做几次不同的仿真。注意：如果电路中有数字器件，可将其当作一个大的接地电阻处理。

5.9.1 建立要分析的电路

建立如图 5-32 所示的单级晶体管放大电路，通过改变两直流电源 V2 和 V3 的数值来了解直流扫描分析的过程。

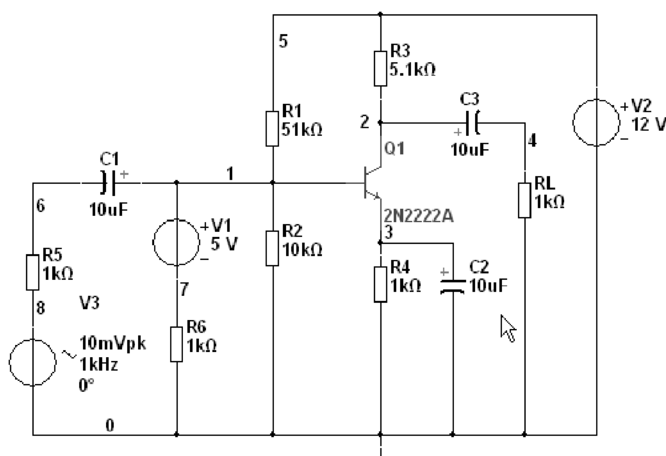


图 5-32 单级晶体管放大电路

5.9.2 仿真设置

执行 Simulate\Analyses\DC Sweep 命令，出现如图 5-33 所示的对话框。

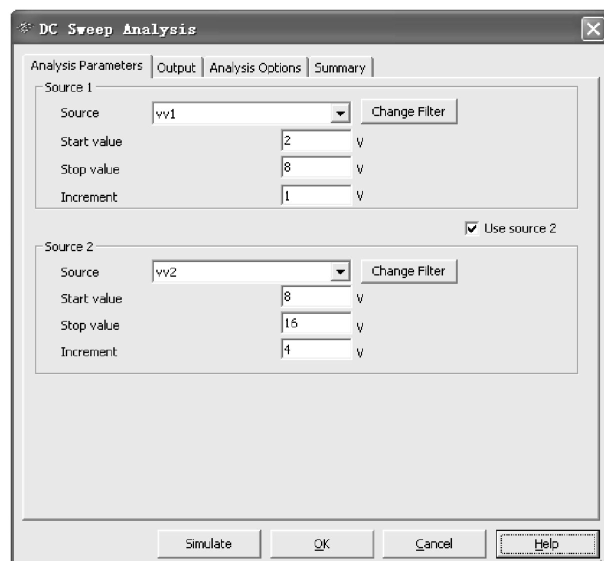


图 5-33 DC Sweep Analysis 对话框

该对话框中包括 4 个标签页，除了 Analysis Parameters 标签页外，其他 3 标签页与直流工作点分析的设置相同。

Analysis Parameters 标签页中包括 Sourcel 与 Source2 两个区，每个区各有下列项目：

（1） Source：选择所要扫描的下游电源。

（2） Start value：设置开始扫描的数值。

（3） Stop value：设置结束扫描的数值。

（4） Increment：设置扫描的增量值。

按钮 Change Filter 用来选择 Source 表中过滤的内容。

如果要指定第 2 个电源，则需选取 Use source2 选项。

对于本分析电路，选择第 1 个电源 V1 的变动范围为 2 ~ 8V，增量为 1V；第 2 个电源 V2 的变动范围为 8 ~ 16V，增量为 4V；并且在 Output variables 页上选取节点 3 为输出变量。

5.9.3　运行仿真分析

分析设置完毕后，单击图 5-33 对话框下部的 Simulate 按钮即可进行分析，其仿真分析结果如图 5-34 所示。

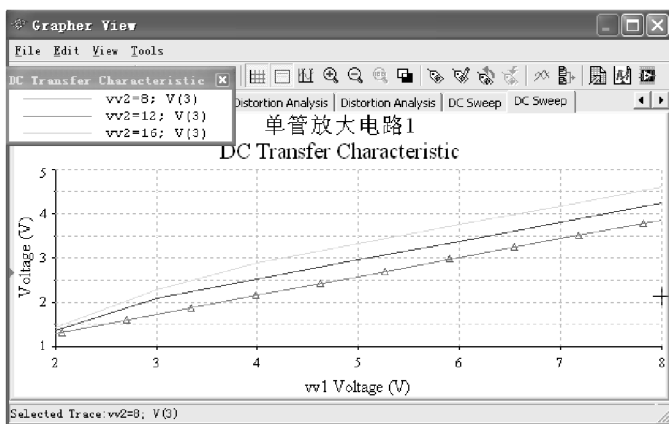


图 5-34　直流扫描分析仿真结果

这里由于同时有两个扫描电源，所以输出曲线的条数为第 2 个电源被扫描的点数。

5.10　灵敏度分析

灵敏度分析（Sensitivity Analyses）是计算电路的输出变量对电路中元器件参数的敏感程度。Multisim 11 提供直流灵敏度与交流灵敏度的分析功能。直流灵敏度的仿真结果以数值的形式显示，而交流灵敏度仿真的结果则绘出相应的曲线。

5.10.1　建立要分析的电路

建立灵敏度分析电路，如图 5-35 所示电路。

5.10.2 仿真设置

执行 Simulate\Analyses\ Sensitivity…命令，出现如图 5-36 所示的灵敏度分析设置对话框。

该对话框中包括 4 个标签页，除了 Analysis Parameters 标签页外，其余 3 个标签页皆与直流工作点分析的设置相同。

Analysis Parameters 标签页中包括两个区，现分别加以说明：

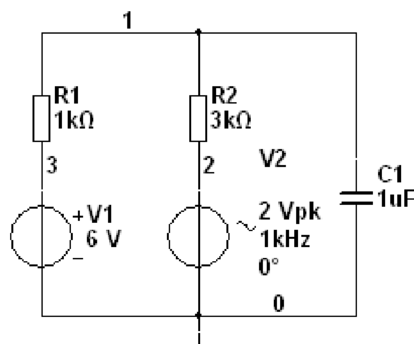


图 5-35 灵敏度分析电路

Output nodes/currents 区有下面一些选项：

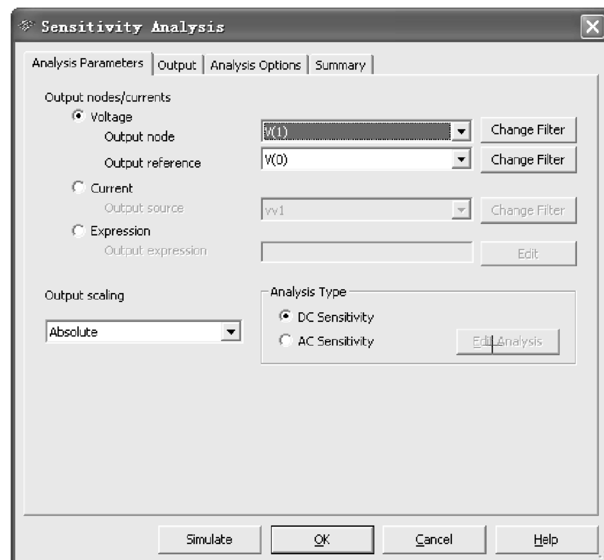


图 5-36 灵敏度分析设置对话框

（1） Voltage：选择进行电压灵敏度分析。选取该选项后即可在其下的 Output node 栏内选定要分析的输出节点及在 Output reference 栏内选择输出端的参考节点。

（2） Current：选择进行电流灵敏度分析。电流灵敏度分析只能对信号源的电流进行分析，因此，在选取该选项后即可在其下的 Output source 栏内选择要分析的信号源。

（3） Output scaling：选择灵敏度输出格式，包括 Absolute （绝对灵敏度） 和 Relative （相对灵敏度） 两个选项。

按钮 Change Filter 的功能是打开 Filter nodes 对话框，过滤内部节点、外部引脚及子电路中的输出变量。

Analysis Type 区包括两个选项：

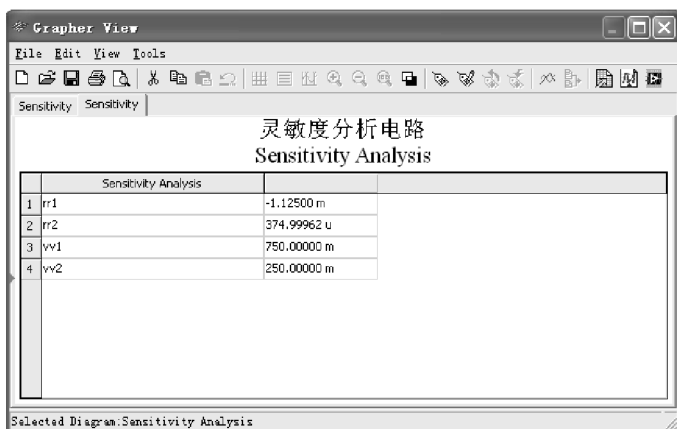
（1） DC Sensitivity：选择进行直流灵敏度分析，分析结果将产生一个表格。

（2） AC Sensitivity：选择进行交流灵敏度分析，分析结果将产生一个分析图。

5.10.3 运行仿真分析

对本分析电路，若选择直流灵敏度分析，并选取进行电压灵敏度分析，要分析的节点选

择节点 1，输出端的参考节点为节点 0。同时在 Output 页中选择全部变量。分析设置完毕后，单击图 5-36 对话框下部的 Simulate 按钮即可进行分析，则灵敏度分析仿真结果如图 5-37 所示。



	Sensitivity Analysis	
1	rr1	-1.12500 m
2	rr2	374.99962 u
3	vv1	750.00000 m
4	vv2	250.00000 m

图 5-37　直流灵敏度分析仿真结果

本电路若选择交流灵敏度分析，仍取电压灵敏度分析，分析节点和参考节点仍为节点 1 和 0。在 Output 页中选择全部变量。分析设置完毕后，单击图 5-36 对话框下部的 Simulate 按钮即可进行分析，则仿真结果如图 5-38 所示。

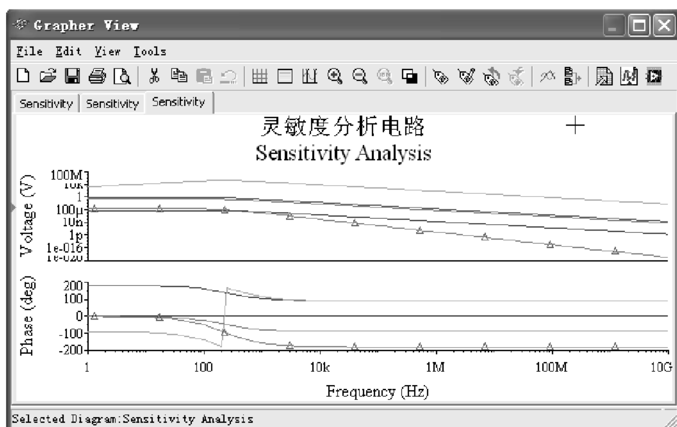


图 5-38　交流灵敏度分析仿真结果

5.11　参数扫描分析

参数扫描分析（Parameter Sweep Analysis）可以较快地查证电路元器件数值在一定范围变化时对电路的影响，这种分析方法相当于该元器件每次取不同的值，进行多次仿真。观察变化时对电路直流工作点、瞬态特性及交流频率特性的影响，以便对电路的某些性能指标进行优化。

5.11.1 建立要分析的电路

图 5-39 所示是一个整流滤波电路，对电容 C1 的参数进行扫描，观察电容量与纹波之间的关系。

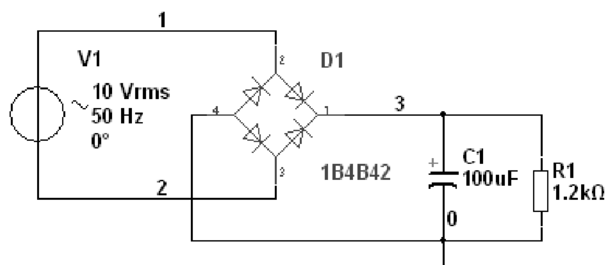


图 5-39 整流滤波电路

5.11.2 分析设置

要进行参数扫描分析，可执行 Simulate\Analyses\Parameter Sweep 命令，出现如图 5-40 所示的 Parameter Sweep 对话框。

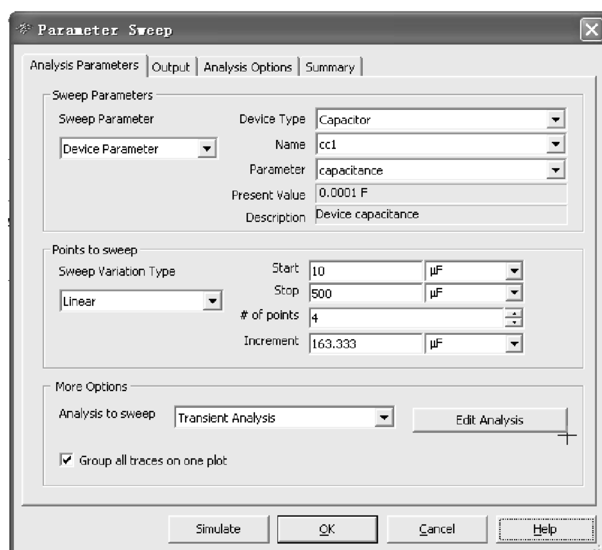


图 5-40 Parameter Sweep 对话框

该对话框中包括 4 个标签页，除了 Analysis Parameters 标签页外，其余各标签页均与直流工作点分析的设置相同。

Analysis Parameters 标签页中的各项说明如下：

（1） Sweep Parameter 区：设置扫描的元件及参数。

可供选择的扫描参数类型有：元件参数或模型参数。选择不同的扫描参数类型之后，还将有不同的项目供进一步选择，说明如下：

1）Device Parameter：该选项选择元件参数类型。选取该选项后，该区的右边5个栏出现与器件参数有关的一些信息，还需进一步选择。

2）Device Type：选择所要扫描的元件种类，这里包括了电路图中所用到的元件种类，对本分析电路有：Capacitor（电容器类）、Diode（二极管类）、Resistor（电阻类）和Vsource（电压源类）。

3）Name：选择要扫描的元件序号，例如若Device Type栏内选择Capacitor，则此处可选择ccl。

4）Parameter：选择要扫描元件的参数。当然，不同元件有不同的参数，以Capacitor为例，可供选择的参数有：Capacitance、ic、w、1和seas cap等，其含义在Description栏内说明。而Present Value栏则为目前该参数的设置值。

Model Parameter：表示选中的是元件模型参数类型。选取该选项后，区右边同样出现需要进一步选择的5个栏。这5个栏中提供的选项，不仅与电路有关，而且与选择Device Parameter对应的选项有关，需注意区别。

（2）Points to sweep区：本区的功能是选择扫描方式。

Sweep Variation Type栏中有4种可选择的扫描变量类型：Decade（10倍刻度扫描）、Octave（8倍刻度扫描）、Linear（线性刻度扫描）及List（取列表值）。

如果选择Decade、Octave或Linear选项，则该区的右边将出现如图所示的4个栏。其中：

1）Start：开始扫描的参数值。

2）Stop：结束扫描的参数值。

3）#of：扫描的点数。

4）Increment：扫描的增量。

以上4个数值之间存在着明显关系：(Increment)=[(Stop)-(Start)]/[(#of-1)，故#of与Increment只须指定其中之一，另一个由程序自动设定。

如果选择List选项，则其右边将出现Value栏，如图5-41所示。

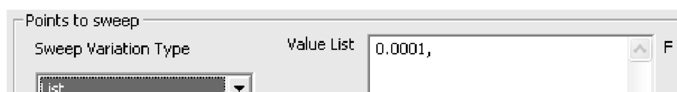


图5-41 Points to sweep区

此时可在Value栏中输入所取的值。如果要输入多个不同的值，则在数字之间以空格、逗点或分号隔开。

（3）More Options区：本区的功能是选择分析类型。

1）Analysis to sweep：选择分析类型，有DC Operating Point（直流工作点分析）、AC Analysis（交流分析）及Transient Analysis（瞬态分析）3种分析类型供选择。在选定分析类型后，可单击Edit Analysis按钮对该项分析进行进一步编辑设置。

2）Group all traces on one plot：选择此项将所有分析的曲线放置在同一个分析图中显示。

本分析电路，Analysis Parameters标签页中的各选项选择如下：

Sweep Parameter：Device Parameter
Device：Capacitor
Name：ccl
Parameter：Capacitance
Sweep Variation Type：Linear
Start：1e－005（单位为 F，即 10μF）
Stop：0. 0005（即 500μF）
#of：4
Analysis to sweep：Transient Analysis 并单击 Edit Analysis 按钮，将 Endtime 修改为 0. 1。
选择 Group all traces On one plot 选项。
同时，在 Output variables 页中选择节点 3 为分析变量。

5. 11. 3　运行仿真分析

各项参数设置好后，单击图 5-40 对话框下部的 Simulate 按钮，则参数扫描仿真结果如图 5-42 所示。

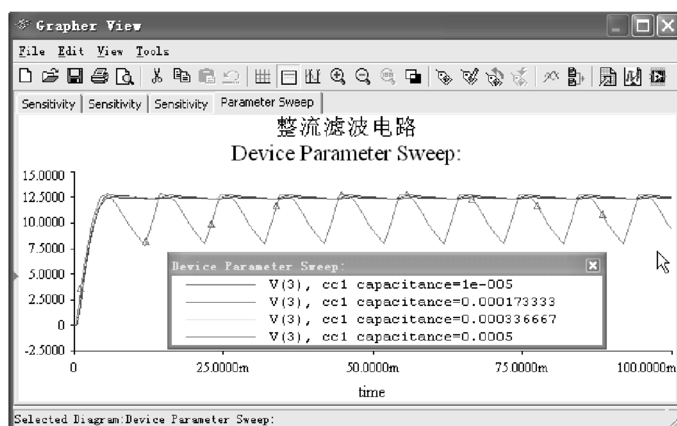


图 5-42　参数扫描仿真结果

5. 12　温度扫描分析

温度扫描分析（Temperature Sweep Analysis）是研究温度变化对电路性能的影响。通常电路的仿真都是假设在 27℃下进行的，而由于许多电子器件与温度有关，当温度变动时，电路的特性也会产生一些改变。该分析相当于在不同的工作温度下多次仿真电路性能。不过，Multisim 中的温度扫描分析并不是对所有元件都有效，仅限于考虑一些半导体器件和虚拟电阻。

5. 12. 1　建立要分析的电路

图 5-43 是一个单管放大电路，试对输出节点 4 进行温度分析。

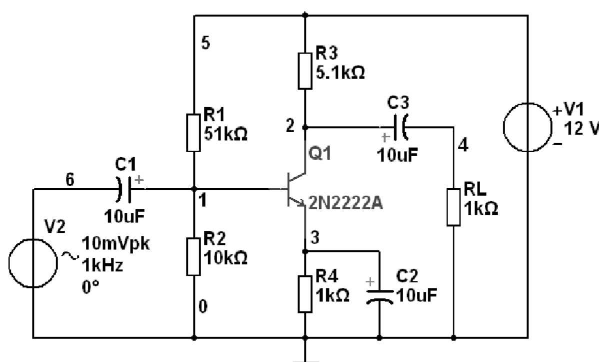


图 5-43　单管放大电路

5.12.2　分析设置

要进行参数扫描分析，可执行 Simulate \ Analyses \ Temperature Sweep 命令，出现如图 5-44所示的 Temperature Sweep Analysis 对话框。

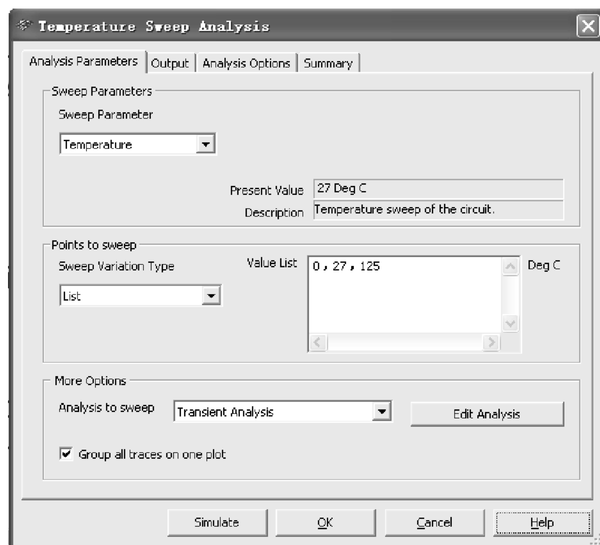


图 5-44　Temperature Sweep Analysis 对话框

由图 5-44 可见，与参数扫描的设置对话框完全一样，故其设置方式也一样，只要在 Sweep Variation Type 栏内选取 List 选项，然后在其右边的 Value 栏内列出所要扫描的温度即可。

对于本分析电路，假设扫描的温度是：0℃、27℃、125℃。并在 Output 标签页中选择节点 4 为分析变量。

5.12.3　运行仿真分析

参数设置好后，单击图 5-44 对话框下部的 Simulate 按钮，则温度扫描仿真结果如图

5-45所示。

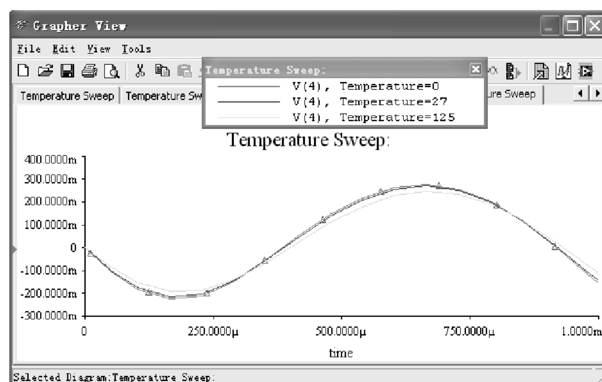


图 5-45　温度扫描仿真结果

5.13　极点—零点分析

极点－零点分析（Pole Zero Analysis）是对电路进行交流小信号状态下传递函数的极点和零点分析，该分析首先要计算电路的直流工作点，依据非线性器件小信号线性化的模型，通过仿真运行找出传递函数的极点和零点。极点－零点分析用于确定电路的稳定性，若分析结果传递函数的极点具有负实部，则电路是稳定的，否则电路在某些频率响应时将是不稳定的。

5.13.1　建立要分析的电路

本分析电路仍采用图 5-43 单管放大电路，对其进行极点—零点分析。

5.13.2　分析设置

要进行极点—零点分析，可执行 Simulate\Analysis\Pole－Zero…命令，出现如图 5-46 所示的 Pole－Zero Analysis 对话框。

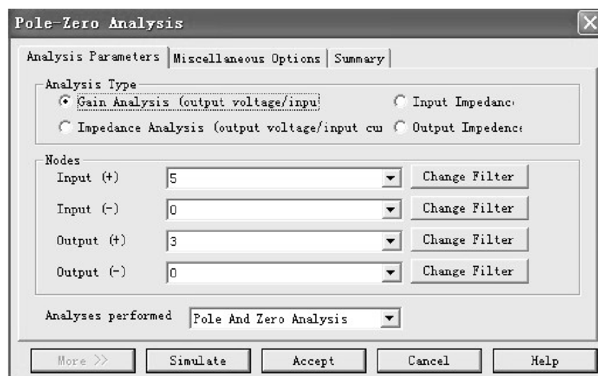


图 5-46　Pole－Zero Analysis 对话框

该对话框中包括 3 个标签页，除了 Analysis Parameters 标签页外，其余两标签页与直流工作点分析的设置相同。

Analysis Parameters 标签页的各选项设置说明如下：

（1） Analysis type 区：选择分析类型，共有 4 种：

1） Gain Analysis （output voltage/input voltage）：电路增益分析，也就是输出电压/输入电压。

2） Impedance Analysis （output voltage/input current）：电路互阻抗分析，也就是输出电压/输入电流。

3） Input Impedance：电路输入阻抗。

4） Output Impedance：电路输出阻抗。

（2） Nodes 区：选择作为输入、输出的正负节点。

1） Input （+）：正的输入节点。

2） Input （－）：负的输入节点，通常选择接地端，即节点 0。

3） Output （+）：正的输出节点。

4） Output （－）：负的输出节点，通常选择接地端，即节点 0。

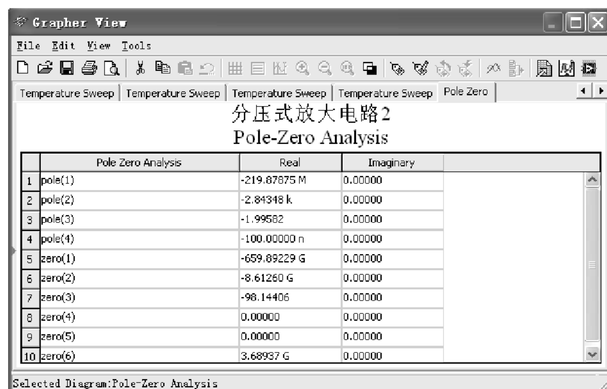
（3）Analyses performed 栏：选择所要分析的项目，包括 Pole and Zero Analysis （同时求出极点与零点）、Pole Analysis （仅求出极点） 及 Zero Analysis （仅求出零点） 3 个选项。

对于本分析电路，假定选定如下项目：

Gain Analysis，节点 1 为正输入节点，节点 4 为正输出节点，节点 0 为输入输出负节点，同时求出极点和零点。

5.13.3　运行仿真分析

参数设置好后，单击图 5-46 对话框下部的 Simulate 按钮，则 Pole Zero Analysis 仿真结果如图 5-47 所示。



	Pole Zero Analysis	Real	Imaginary
1	pole(1)	-219.87875 M	0.00000
2	pole(2)	-2.84348 k	0.00000
3	pole(3)	-1.99582	0.00000
4	pole(4)	-100.00000 n	0.00000
5	zero(1)	-659.89229 G	0.00000
6	zero(2)	-8.61260 G	0.00000
7	zero(3)	-98.14406	0.00000
8	zero(4)	0.00000	0.00000
9	zero(5)	0.00000	0.00000
10	zero(6)	3.68937 G	0.00000

图 5-47　Pole Zero Analysis 仿真结果

图表中所列极点和零点的单位为 rad/s。

5.14 传递函数分析

传递函数分析（Transfer Function Analysis）是分析计算在交流小信号条件下，由用户指定的作为输出变量的任意两节点之间的电压或流过某一个器件上的电流与作为输入变量的独立电源之间的比值，同时也将计算出相应的输入阻抗和输出阻抗值。在进行分析前应对非线性元器件建立线性化模型，并进行直流工作点计算。

5.14.1 建立要分析的电路

分析电路如图 5-48 所示运放电路。

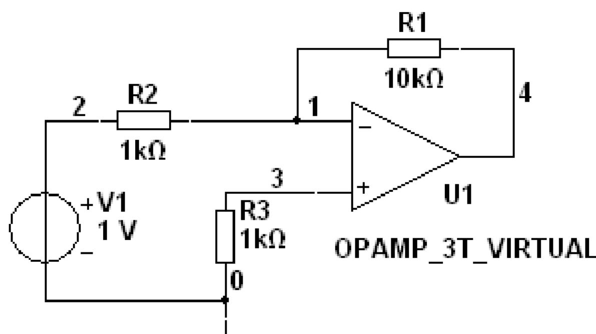


图 5-48 运放电路

5.14.2 分析设置

要进行传递函数分析，可执行 Simulate\Analyses\Transfer Function 命令，出现如图5-49所示的 Transfer Function Analysis 对话框。

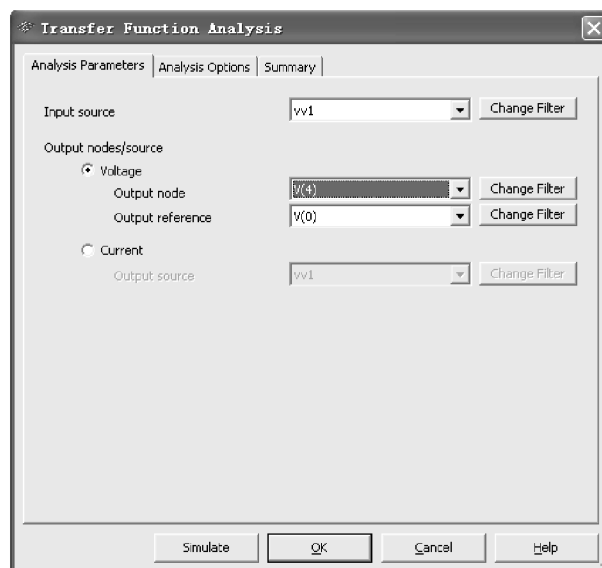


图 5-49 Transfer Function Analysis 对话框

该对话框中包括 3 个标签页，除了 Analysis Parameters 标签页外，其余各标签页皆与直流工作点分析的设置一样。

Analysis Parameters 标签页各选项说明如下：

（1） Input source：选择所要分析的输入电源。

（2） Voltage：选择作为输出电压的变量。在 Output node 栏中指定将作为输出的节点，而在 Output reference 栏中指定参考节点，通常是接地端（即节点 0）。

（3） Current：选择作为输出电流的变量。在 Output source 栏中指定所要输出的电流。对本电路 Input source 只能取 VVl（VVl 含义为第 1 个电源的电压），节点 4 为输出节点，节点 0 为参考节点。

5.14.3　运行仿真分析

参数设置好后，单击图 5-49 对话框下部的 Simulate 按钮，则 Transfer Function 仿真结果如图 5-50 所示。

比例运放电路

Transfer Function

	Transfer Function Analysis	
1	Transfer function	-10.00055
2	vv1#Input impedance	999.94998
3	Output impedance at V(V(4),V(0))	0.00000

图 5-50　Transfer Function 仿真结果

5.15　最坏情况分析

最坏情况分析（Worst Case Analysis）是一种统计分析。所谓最坏情况是指电路中的元件参数在其容差域边界点上取某种组合时所引起的电路性能的最大偏差，而最坏情况分析是在给定电路元件参数容差的情况下，估算出电路性能相对于标称值时的最大偏差。

5.15.1　建立要分析的电路

分析电路如图 5-51 所示单管放大电路。

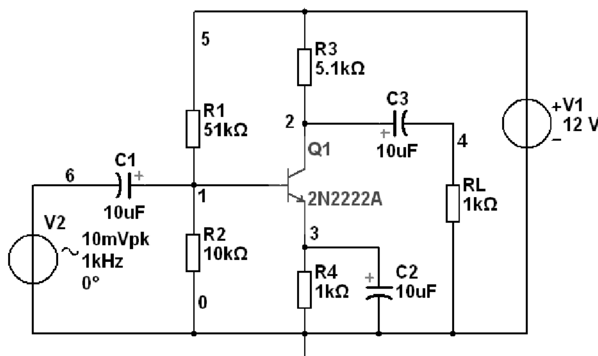


图 5-51　单管放大电路

5.15.2 分析设置

要进行最坏情况分析，可执行 Simulate\Analyses\Worst Case 命令，出现如图 5-52 所示的 Worst Case Analysis 对话框。

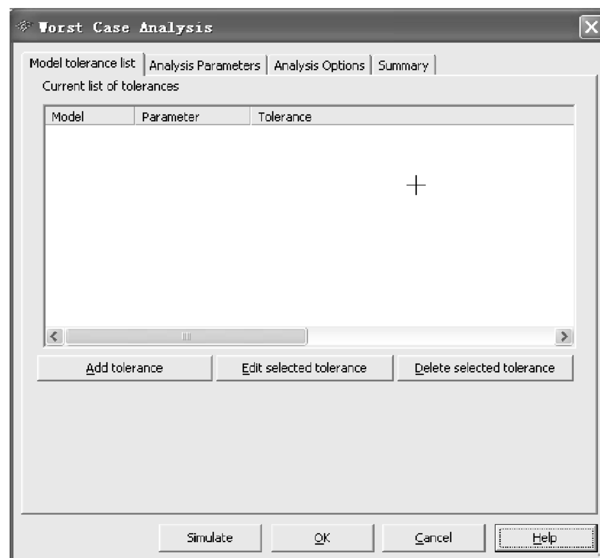


图 5-52 Worst Case Analysis 对话框

该对话框中包括 4 个标签页，除了 Model tolerance List 和 Analysis Parameters 标签页外，其余各标签页皆与直流工作点分析的设置相同。

1. Model tolerance list 标签页

Current list of tolerances 区：列出当前分析电路中元件模型误差。可以单击下方的 Add tolerance 按钮，添加误差设置，出现如图 5-53 所示的对话框。

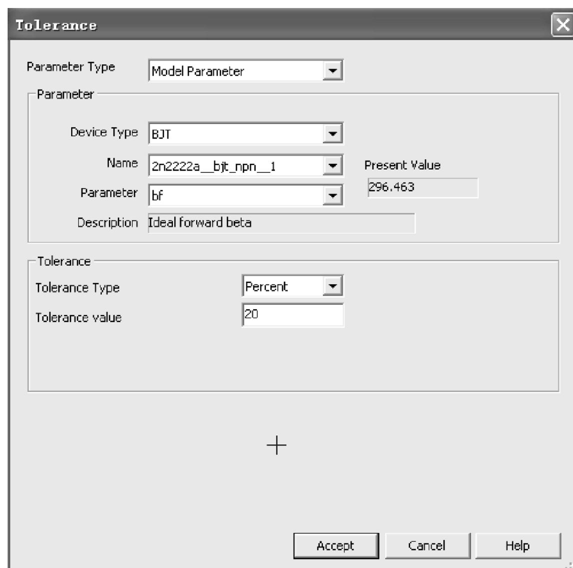


图 5-53 Tolerance 对话框

可以在 Parameter Type 栏中选择所要设定的元件模型参数（Model Parameter 选项）或器件参数（Device Parameter 选项），其下的 Parameter 区将随之改变，说明如下：

（1）Parameter 区：该区包括：

1）Device Type：选择所要设定参数的器件种类，其中包括电路图中所使用到的元件种类，例如 BJT（双极性晶体管类）、Capacitor（电容器类）、Diode（二极管类）、Resistor（电阻器类）及 Vsource（电压源类）等。

2）Name：选择所要设定参数的元件序号，例如 Q1 晶体管则指定为 qq1；C1 电容器则指定为 cc1 等。

3）Parameter：选择所要设定的参数，当然，不同元件有不同的参数，以晶体管为例，可指定为 off（不使用）、icvbe（即 i_c、u_{be}）、icvce（即 i_c、u_{ce}）、area（区间因素）、i_c（即 I_c）、sens _ area（即灵敏度）或 temp（温度）等。

4）Present Value：当前该参数的设定值（不可更改）。

5）Description：为 Parameter 所选参数的说明（不可更改）。

（2）Tolerance 区：确定容差的设置方式，其中包括 2 个栏：

1）Tolerance Type：选择容差的形式，其中包括 Absolute（绝对值）和 Percent（百分比）两个选项。

2）Tolerance value：根据所选的容差形式设置容差值。

当完成新增设定后，单击 Accept 按钮即可将新增项目添加到图 5-53 对话框中。

图 5-52 中还有两个按钮：Edit selected tolerance 的功能是对所选取的某个误差项目进行重新编辑，单击此按钮，将开启如图 5-53 所示的对话框；Delete selected tolerance 的功能是删除所选取的误差项目。

2. Analysis Parameters 标签页

Analysis Parameters 标签页如图 5-54 所示，该标签页中包括下列项目：

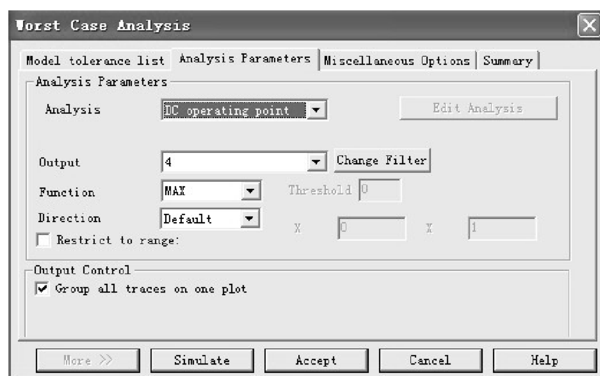


图 5-54　Analysis Parameters 标签页

1）Analysis：选择所要进行的分析，其中包括 AC analysis（交流分析）及 DC operating point（直流工作点分析）两个选项。

2）Output：选择所要分析的输出节点。

3）Function：选择比较函数。最坏情况分析所得到的数据通过比较函数收集。所谓比较函数实质上相当于一个高选择性过滤器，每运行一次仅允许收集一个数据。其中：

① MAX：Y 轴的最大值。仅在 AC analysis 选项时选用。

② MIN：Y 轴的最小值。仅在 AC analysis 选项时选用。

③ RISE _ EDGE：第一次 Y 轴出现大于用户设定的门限时的 X 值。其右边的 Threshold 栏用来输入其门限值。

④ FALL _ EDGE：第一次 Y 轴出现小于用户设定的门限时的 X 值。其右边的 Threshold 栏用来输入其门限值。

4）Direction：选择容差变化方向，包括 Default、Low 及 High 3 个选项。

5）Group all traces on one plot：若选中此项，将所有仿真分析结果和记录在一个图形中显示。若不选此项，则将标称值仿真、最坏情况仿真和 Run Log Descriptions 分别输出显示。

对于本分析电路，假设 BJT 管子的 bf 值容差为 20%，电阻 R3 的容差为 10%，具体设置说明如下：

（1）BJT 容差的设置

Parameter Type：Model Parameter

Device Type：BJT

Name：q2n2222a _ bjt _ npn _ 1

Parameter：bf

Distribution：Ideal forward beta

Tolerance Type：Percent

Tolerance value：20%

（2）R3 容差的设置

Parameter Type：Device Parameter

Device Type：Resistor

Name：rr3

Parameter：resistance

Distribution：resistance

Tolerance Type：Percent

Tolerance value：10%

（3）Analysis Parameters 标签页的设置

Analysis：DC Operating point

Output variable：V（2）

Function：MAX

Direction：High

选择 Group all traces on one plot。

5.15.3 运行仿真分析

参数设置好后，单击图 5-52 对话框下部的 Simulate 按钮，则最坏情况仿真结果如图5-55 所示。

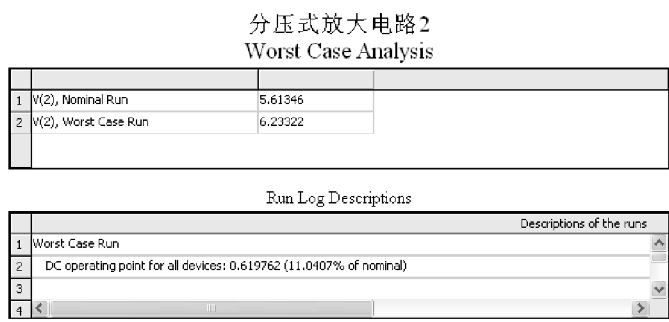


图 5-55　直流工作点最坏情况仿真结果

若 Analysis Parameters 标签页中的 Analysis 选项设置为 AC analysis，其他设置不变，单击图 5-54 对话框下部的 Simulate 按钮，则交流分析仿真结果如图 5-56 所示。

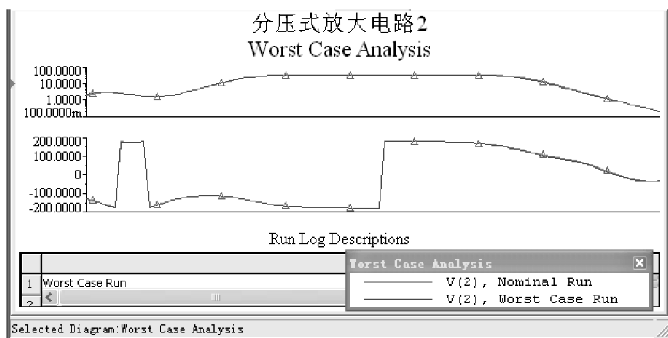


图 5-56　交流分析最坏情况仿真结果

5.16　蒙特卡罗分析

蒙特卡罗分析（Monte Carlo Analysis）是一种统计模拟方法，它是在给定电路件参数容差的统计分布规律的情况下，用一组伪随机数求得元器件参数的随机抽样序列，对这些随机抽样的电路进行直流、交流和瞬态分析，并通过多次分析结果估算出电路性能的统计分布规律，如电路性能的中心值和方差、电路合格率及成本等。

5.16.1　建立要分析的电路

分析电路仍用图 5-51 所示单管放大电路。

5.16.2　分析设置

要进行蒙特卡罗分析，可执行 Simulate\Analyses\Monte Carlo 命令，出现如图 5-57 所示的 Monte Carlo Analyses 对话框。

该对话框中除了 Analysis Parameters 标签页的部分选项外，其他与最坏情况分析对话框完全相同。Analysis Parameters 标签页如图 5-58 所示。

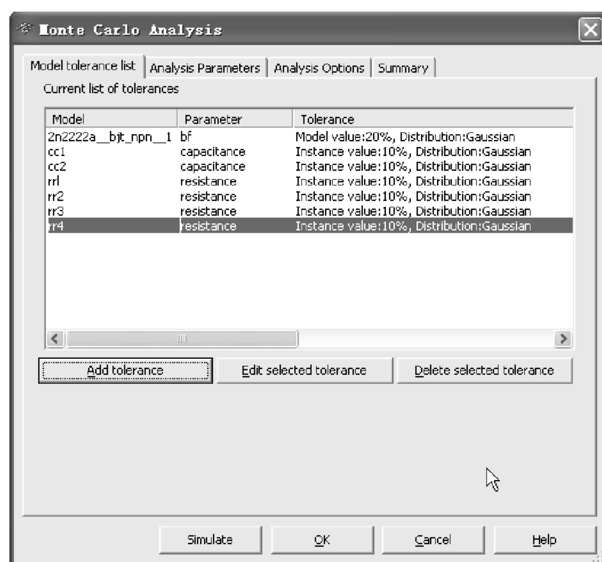


图 5-57　Monte Carlo Analyses 对话框

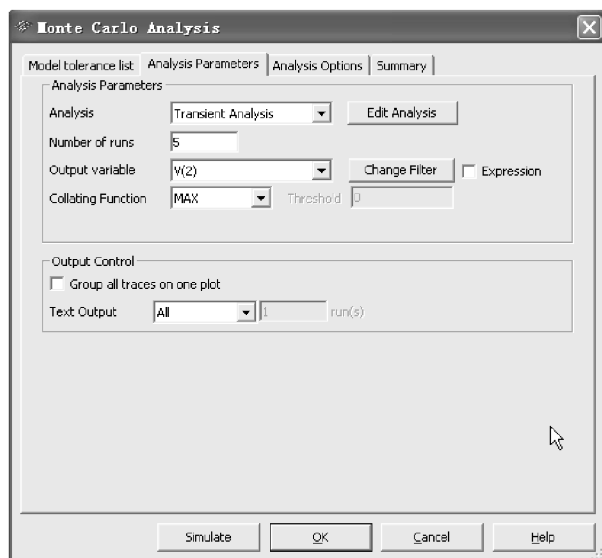


图 5-58　Analysis Parameters 标签页

该标签页中各项说明如下：

Analysis：选择所要进行的分析，其中包括 AC analysis（交流分析）、DC operating point（直流工作点分析）和 Transient analysis（瞬态分析）3 个选项。

Number of runs：设计运行次数，必须≥2。

Output variable、Function、Direction、Restrict to range 及 Group all traces on one plot 与最坏情况分析中对应的选项相同。

Text Output：选择文字输出的方式。

对本分析电路，设置输出节点为节点 2，Number of runs 设置为 5，Text Output 设置为 All。

5.16.3　运行仿真分析

参数设置好后，单击图 5-57 对话框下部的 Simulate 按钮，则 Monte Carlo Analysis 仿真结果如图 5-59 所示。

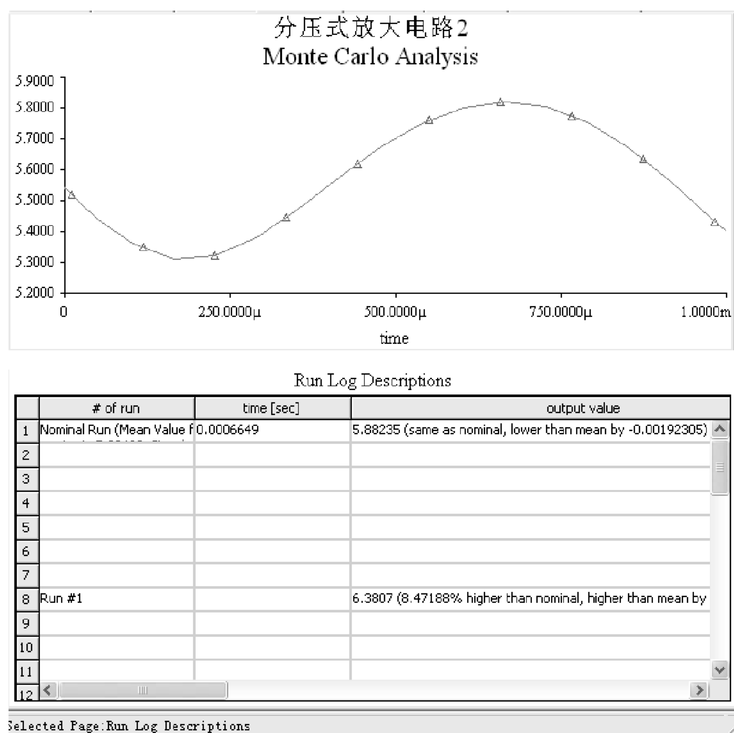


图 5-59　Monte Carlo Analysis 仿真结果

5.17　布线宽度分析

布线宽度分析是为制作印制电路板时，对导线有效的传输电流所允许的最小线宽的分析。导线所消耗的功率不仅与电流有关，还与导线的电阻有关，而导线的电阻又与导线的横截面积有关。在制作印制电路板时，导线的厚度受板材的限制，因此导线的电阻就主要取决于导线宽度。

5.17.1　建立要分析的电路

分析电路仍用图 5-51 所示单管放大电路。

5.17.2　分析设置

当要进行布线宽度分析时，执行 Simulate\Analyses\Trace Width Analysis 命令，电路窗口

出现如图 5-60 所示的 Trace Width Analysis 对话框。

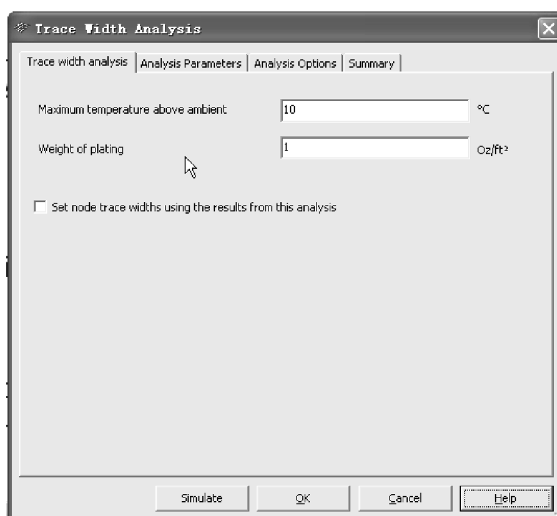


图 5-60 Trace Width Analysis 对话框

该对话框中包括 4 个标签页，除了 Trace width analysis 和 Analysis Parameters 标签页外，其余各标签页皆与直流工作点分析的设置相同。

Analysis Parameters 标签页的设置与瞬态分析设置一样，一般保持默认设置即可。

Trace width analysis 标签页的设置说明如下：

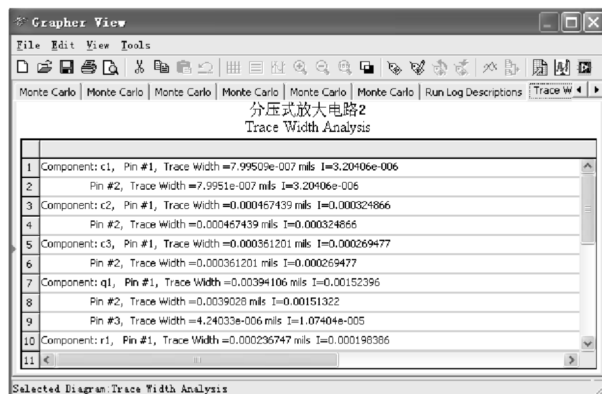
1） Maximum temperature above ambient 栏：用于设置周围可能的最高温度。

2） Weight of plating 栏：用于设置铜膜的厚度。

3） Set note trace widths using the results from this analysis 选项：用于选择是否电路板布线时布线宽度按本分析的结果设置。

5.17.3 运行仿真分析

参数设置好后，单击图 5-60 对话框下部的 Simulate 按钮，则 Trace Width Analysis 仿真结果如图 5-61 所示。



1	Component: c1, Pin #1, Trace Width =7.99509e-007 mils I=3.20406e-006
2	Pin #2, Trace Width =7.9951e-007 mils I=3.20406e-006
3	Component: c2, Pin #1, Trace Width =0.000467439 mils I=0.000324866
4	Pin #2, Trace Width =0.000467439 mils I=0.000324866
5	Component: c3, Pin #1, Trace Width =0.000361201 mils I=0.000269477
6	Pin #2, Trace Width =0.000361201 mils I=0.000269477
7	Component: q1, Pin #1, Trace Width =0.00394106 mils I=0.00152396
8	Pin #2, Trace Width =0.0039028 mils I=0.00151322
9	Pin #3, Trace Width =4.24033e-006 mils I=1.07404e-005
10	Component: r1, Pin #1, Trace Width =0.000236747 mils I=0.000198386
11	

图 5-61 Trace Width Analysis 仿真结果

5.18　批处理分析

批处理分析（Batched Analyses）是将不同的分析或者同一分析的不同实例放在一起依次执行。

5.18.1　建立要分析的电路

在实际电路分析中，通常需要对同一个电路进行多种分析，例如对一个如图 5-51 所示的单管放大电路，为了确定静态工作点，需要进行直流工作点分析；为了了解其频率特性，需要进行交流分析；为了观察输出波形，可进行瞬态分析。这时使用 Multisim 11 的批处理分析将会更快捷方便。下面以该例来简要说明批处理分析的运用。

5.18.2　分析设置

当要进行批处理分析时，执行 Simulate\Analyses\Batched Analyses 命令，电路窗口出现如图 5-62 所示的对话框。

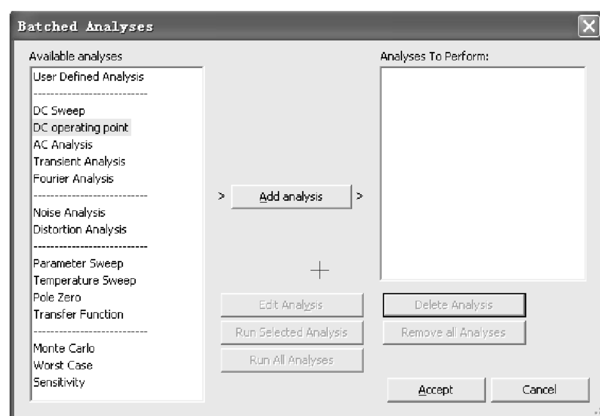


图 5-62　Batched Analyses 对话框

此时，在左边 Available 区中选取所要执行的分析，若本分析电路选择 DC operating point，再单击 --> Add analysis --> 按钮，电路窗口上将出现如图 5-63 所示对话框。

该对话框与直流工作点分析的参数设置对话框基本相同，所不同的是 Simulate 按钮换成了 Add to list 按钮。在设置对话框中各种参数之后，单击 Add to list 按钮，即回到 Batched Analyses 对话框，这时在此右边的 Analyses To Perform 区中出现将要分析的项 DC operating point。单击分析项左侧的 + 号，则显示出该分析项的综合信息。

继续添加所希望的分析，这里假设还需对节点 2 进行瞬态分析和传递函数分析，同样对各项分析进行设置和选择。全部指定完成后，在 Batch Analyses 对话框的右边 Analyses To Perform 区中将出现 3 个分析项，如图 5-64 所示。

图 5-64 中还有其他几个按钮，介绍如下：

按钮 Edit Analysis ：选取批处理分析中某个分析项，对其参数进行编辑处理。

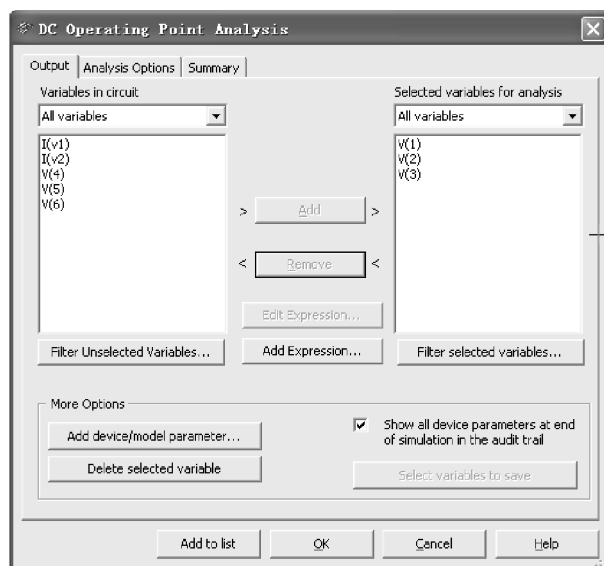


图 5-63　DC Operating Point Analysis 对话框

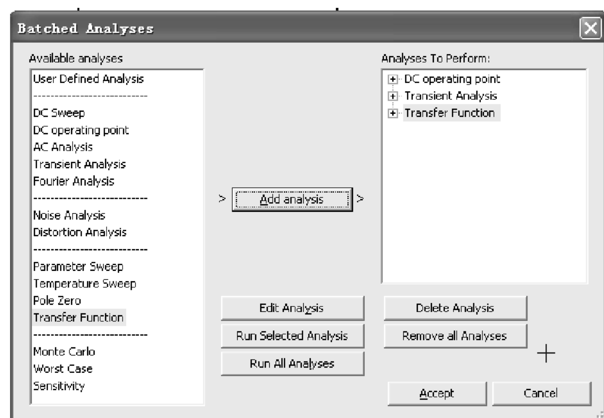


图 5-64　Analyses To Perform 区 3 个分析项

按钮 Run Selected Analysis：选取批处理分析中某个分析项，运行仿真。

按钮 Delete Analysis：选取批处理分析中某个分析项，将其删除。

按钮 Remove all Analyses：将已选中的 Analyses To Perform 区内的分析全部删除。

按钮 Run All Analyses：将选定在 Analyses To Perform 区中的全部分析项，运行仿真。

按钮 Accept：保留 Batch Analyses 对话框中的所有选择设置，待以后使用。

5.18.3　运行仿真分析

参数设置好后，单击图 5-64 对话框下部 Run All Analyses 按钮即执行所选定在 Analyses To Perform 区中的全部分析仿真。仿真的结果依次出现在 Analyses Graphs 中，如图 5-65 所示。

单击图 5-65 上部的各分析项标签，即可浏览其分析结果图形。

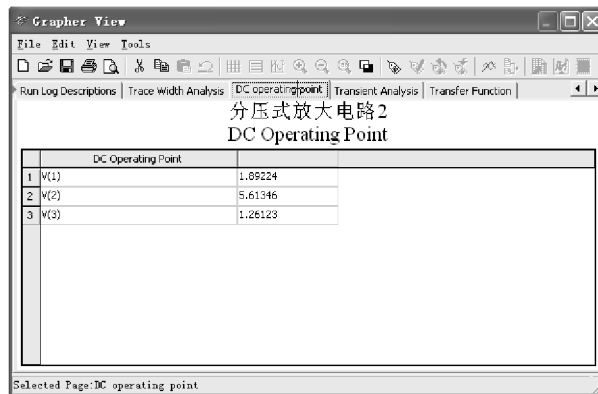


图 5-65　批处理分析仿真结果

5.19　用户自定义分析

用户自定义分析（User Defined Analysis）是 Multisim 提供给用户扩充仿真分析功能的一个途径。执行 Simulate\Analyses\User Defined Analysis 命令，即可在电路窗口中出现如图 5-66所示的 User Defined Analysis 对话框。



图 5-66　User Defined Analysis 对话框

该对话框中共有 3 个标签页，除了 Commands 标签页外，另外 2 个标签页与直流工作点分析的设置相同。用户可在 Commands 标签页中，为了实现某种分析功能，输入可执行的 Spice 命令。最后，单击 Simulate 按钮即可执行相应的分析。

思 考 题

5-1 说明电路仿真的基本原理。

5-2 电路仿真的基本方法步骤是什么?

5-3 直流工作点分析中如何看待交流电源、电容、电感?

5-4 交流分析是对电路中的什么进行仿真分析?

5-5 如何对电路进行瞬态分析? 参数怎样设置?

5-6 傅里叶分析是对电路中的什么量进行评价? 其仿真方法步骤如何?

5-7 说明进行直流扫描分析的意义。

5-8 说明进行参数扫描分析的意义。

5-9 说明温度扫描的意义。

5-10 简述传递函数分析仿真方法步骤。

5-11 简述极点—零点分析仿真方法步骤。

第 6 章　电子电路仿真分析与设计

6.1　RC 一阶电路仿真分析

6.1.1　RC 一阶电路的特点

含有储能元件（L、C）的电路，在电路状态发生变化时，会产生过渡过程。在过渡过程期间，电路中的 u、i 处于暂时的不稳定状态，因此也称为暂态过程。

由 RC 串联组成电路如图 6-1 所示。当开关 S1 接通电源 V1 时，V1 会通过电阻 R1 对电容 C1 进行充电；当开关切换到触点下端时，电容 C1 会经电阻 R1 放电；在充电和放电期间，电路处于暂态过程。

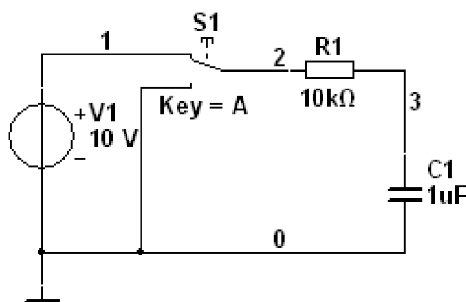


图 6-1　RC 电路的电容充放电仿真电路

6.1.2　搭建 RC 一阶仿真电路

1. 元器件选取

（1）电压源：Place Source→POWER _ SOURCES→DC _ POWER，设置电压 10V。

（2）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（3）电阻：Place Basic→RESISTOR，设置电阻值 10kΩ。

（4）电容：Place Basic→CAPACITOR，设置电容值 1μF。

（5）函数发生器：从虚拟仪器工具栏调取 XFG1。

（6）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建电路

搭建图 6-1 所示的 RC 一阶仿真电路。

6.1.3　RC 一阶动态电路仿真分析

（1）RC 电路的电容充电（零状态响应）仿真分析

1）图 6-1 中的 S1 接向电源 V1。

2）执行 Simulate \ Analysis \ Transient Analysis 命令，弹出如图 6-2 所示的 Transient Analysis 对话框。

在 Analysis Parameters 标签页 Initial Conditions 区中，设置仿真开始时的初始条件为 Set to zero（初始值设置为零）；Parameters 区中，设置起始时间 Start time 为 0 Sec，设置终止时间 End time 为 0. 05Sec。

在 Output 标签页里，设置待分析的节点为 V（3）。

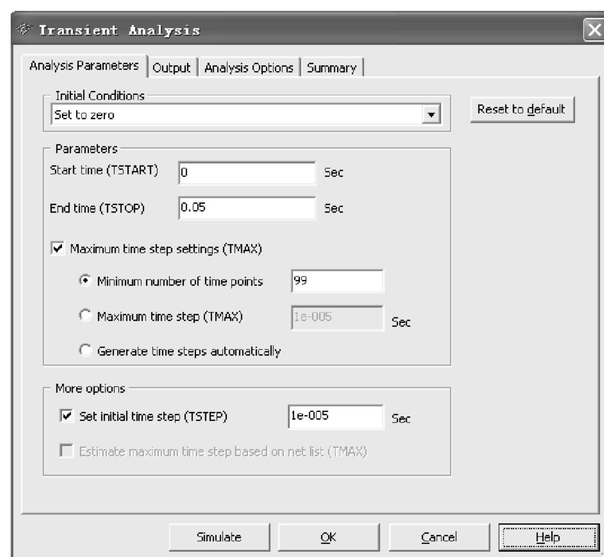


图 6-2 Transient Analysis 对话框

3）单击仿真按钮，即可得到 RC 电路零状态响应曲线，如图 6-3 所示。

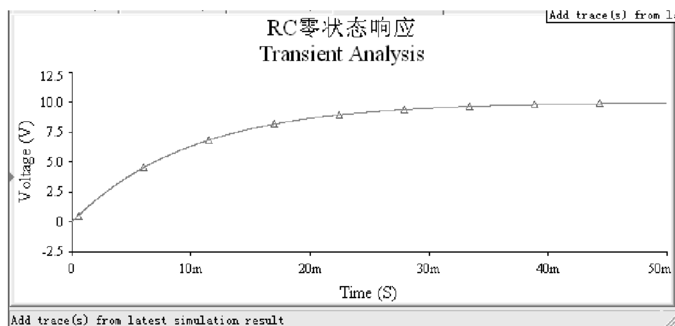


图 6-3 零状态响应曲线

（2）RC 电路的电容放电（零输入响应）仿真分析

1）单击图 6-1 中开关 S1 的控制键 A，活动刀片与下端闭合，形成 RC 电路的电容放电仿真电路，如图 6-4 所示。

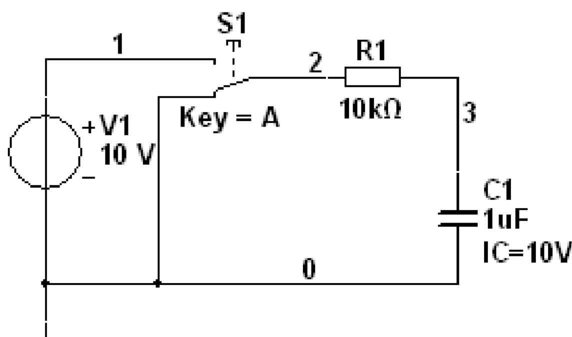


图 6-4 RC 电路的电容放电仿真电路

2）双击图 6-4 中电容器符号，弹出图 6-5 所示的电容器参数设置对话框，单击 Value 标签页，勾选 Initial Conditions（初始条件）选项，设置电容器的初始电压为 10V。执行 Simulate \ Analysis \ Transient Analysis 命令，弹出 Transient Analysis 对话框（见图 6-2）。

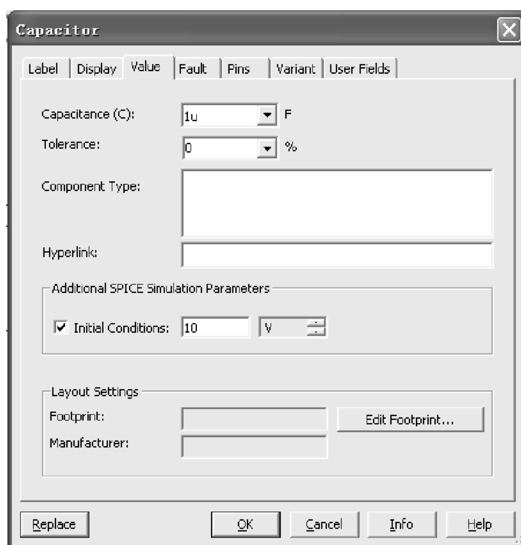


图 6-5　电容器参数设置对话框

在 Analysis Parameters 标签页 Initial conditions 区中，设置仿真开始时的初始条件为 User drfined（由用户自定义）；在 Parameters 区中，设置起始时间 Start time 为 0s，设置终止时间 End time 为 0.05s。

在 Output 标签页里，设置待分析的节点为 V（3）。

3）单击仿真按钮，即可得到 RC 电路零输入响应曲线，如图 6-6 所示。

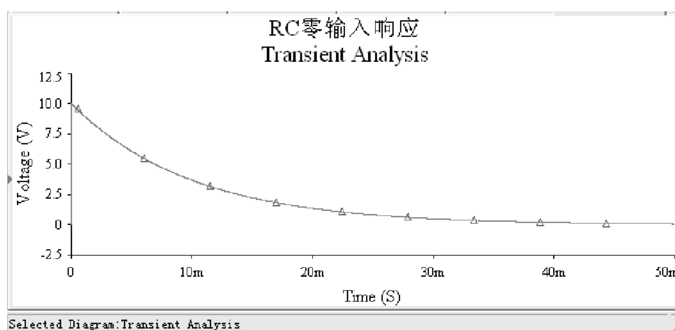


图 6-6　零状态输入响应曲线

（3）一阶 RC 电路的全响应仿真分析

1）搭建如图 6-7 所示的一阶 RC 电路的全响应仿真电路。

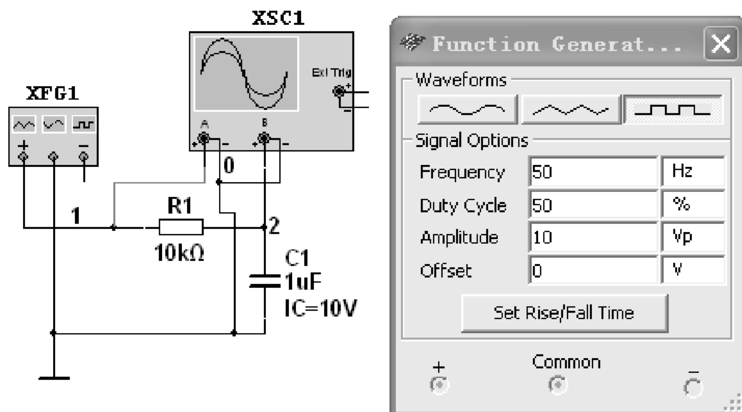


图 6-7　一阶 RC 全响应仿真电路

2）双击图 6-7 中函数发生器 XFG1 的图标，在弹出的函数发生器面板参数设置中，选择方波信号，设置频率为 50Hz，占空比为 50%，幅值为 10V。

3）打开仿真开关，双击示波器 XSC1 图标，弹出其面板，即可看到输入的方波信号和一阶 RC 电路的全响应波形，如图 6-8 所示。

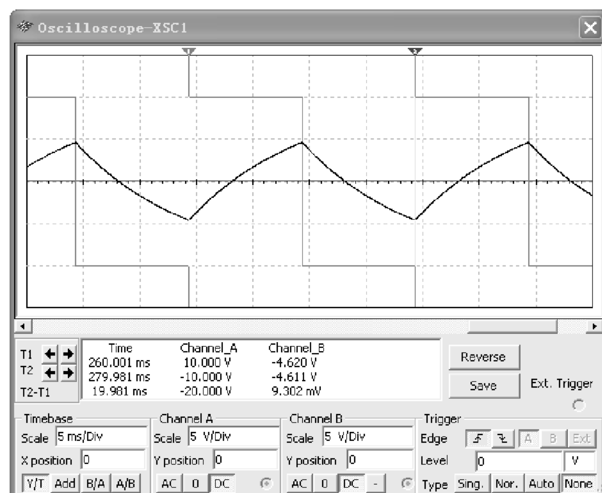


图 6-8　输入方波和输出电容电压全响应波形

在图 6-1 所示的 RC 电路中，时间常数 τ 可以用电阻 R 和电容 C 的乘积来计算。即

$$\tau = RC = 10ms$$

在电容器充电、放电过程中电压和电流都会发生变化，只要在充电或放电曲线图上确定产生总量变化 63% 所需要的时间，就能测出时间常数。

6.2　RLC 二阶动态电路仿真分析

6.2.1　RLC 二阶电路的特点

RLC 串联组成的二阶动态电路如图 6-9 所示。

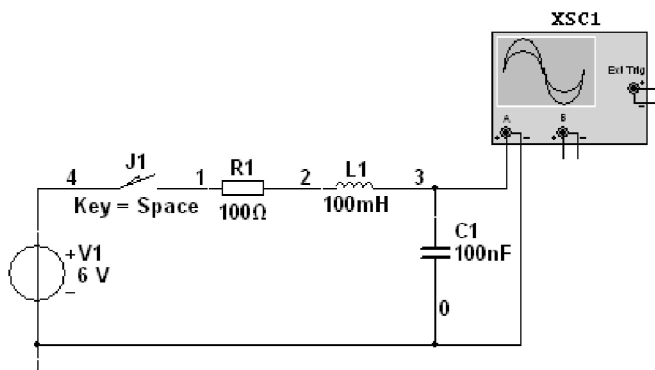


图 6-9　RLC 二阶动态电路欠阻尼仿真电路

若 $C1=100\text{nF}$，$L1=100\text{mH}$，由电路理论可知，临界阻尼状态的电阻 $R1$ 可用下式计算：

$$R1=2\sqrt{\frac{L}{C}}=2\sqrt{\frac{100\times10^{-3}}{100\times10^{-9}}}\Omega=2\text{k}\Omega$$

当 $R1<2\text{k}\Omega$，为欠阻尼状态；当 $R1=2\text{k}\Omega$，为临界阻尼状态；当 $R1>2\text{k}\Omega$，为临界阻尼状态。

6.2.2　搭建 RLC 二阶仿真电路

1. 元器件选取

（1）电压源：Place Source→POWER _ SOURCES→DC _ POWER，设置电压 6V。
（2）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。
（3）电阻：Place Basic→RESISTOR，设置电阻值 100Ω、10kΩ、2kΩ。
（4）电容：Place Basic→CAPACITOR，设置电容值 100nF。
（5）电感：Place Basic→JNDUCTOR，设置电感值 100mH。
（6）开关 J1：Place Elector _ Mechanical→LIMIT _ NO。
（7）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建仿真电路

（1）RLC 二阶动态电路欠阻尼仿真电路如图 6-9 所示。
（2）RLC 二阶动态电路过阻尼仿真电路如图 6-10 所示。
（3）RLC 二阶动态电路临界阻尼仿真电路如图 6-11 所示。

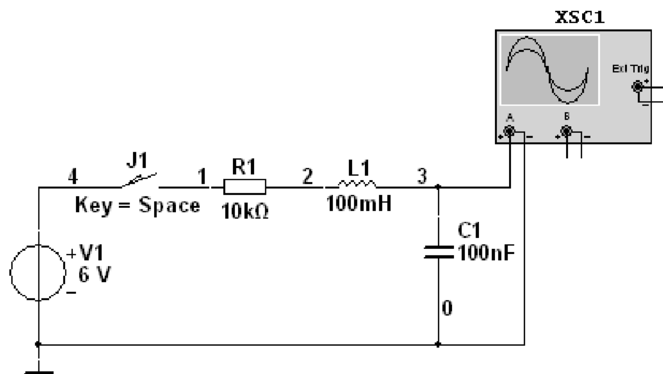


图 6-10　RLC 二阶动态电路过阻尼仿真电路

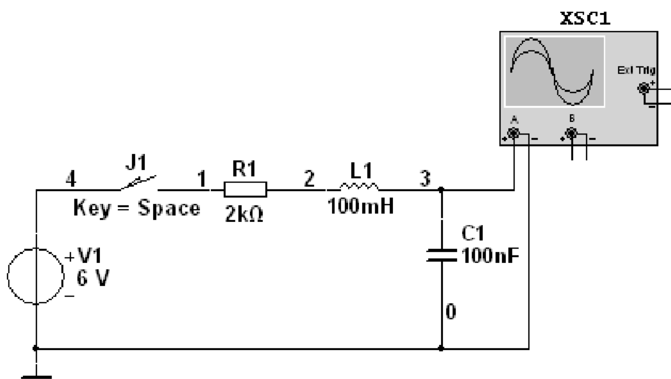


图 6-11　RLC 二阶动态电路临界阻尼仿真电路

6.2.3 仿真分析

（1）RLC 二阶动态电路欠阻尼状态仿真电路（见图 6-9）

1）打开仿真开关，双击示波器 XSC1 图标，弹出其面板。

2）单击开关 J1，即可看到 RLC 二阶动态电路欠阻尼仿真电路电容器两端的电压波形，如图 6-12 所示。

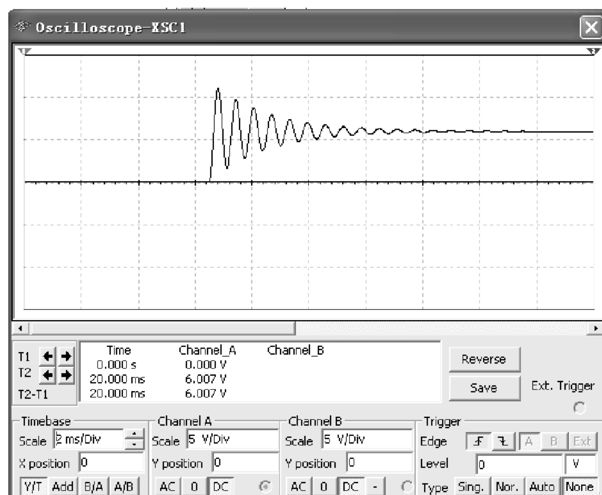


图 6-12 欠阻尼状态电容器两端的电压波形

（2）RLC 二阶动态电路过阻尼仿真电路（见图 6-10）

1）打开仿真开关，双击示波器 XSC1 图标，弹出其面板。

2）单击开关 J1，即可看到 RLC 二阶动态电路过阻尼仿真电路电容器两端的电压波形，如图 6-13 所示。

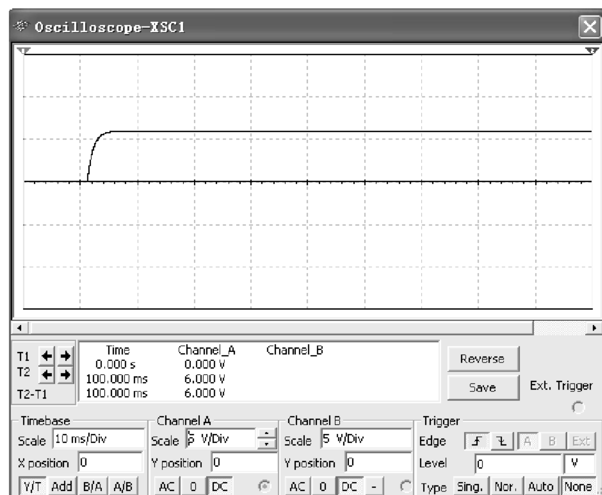


图 6-13 过阻尼状态电容器两端的电压波形

（3）RLC 二阶动态电路临界阻尼状态仿真电路（见图 6-11）

1）打开仿真开关，双击示波器 XSC1 图标，弹出其面板。

2）单击开关 J1，即可看到 RLC 二阶动态电路临界阻尼状态仿真电路电容器两端的电压波形，如图 6-14 所示。

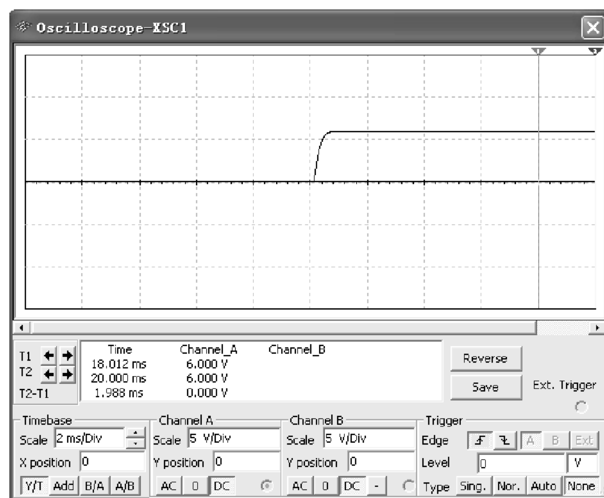


图 6-14　临界阻尼时电容器两端的电压波形

6.3　RLC 串联谐振电路仿真分析

6.3.1　RLC 串联谐振电路特点

RLC 串联谐振电路如图 6-15 所示。该电路的固有频率为

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}=\frac{1}{2\pi\times10^{-6}\times\sqrt{100\times100}}\text{Hz}=1.6\text{kHz}$$

因此，当信号源设置为 1.6kHz 时，电路就发生谐振。

6.3.2　RLC 串联谐振电路的仿真分析

1. 谐振频率仿真分析

搭建图 6-15 所示 RLC 串联谐振电路。将开关 S1 拨至电阻，启动仿真开关，此时，RLC 串联谐振电路处于自由振荡状态。双击波特图示仪 XBP1 图标，弹出波特图示仪面板，参数及仿真结果如图 6-16 所示。拖动波特图示仪面板上的红色光标指针，可读出任意频率时对应的幅值，面板上实际读出的 1.577kHz 与理论分析基本一致。

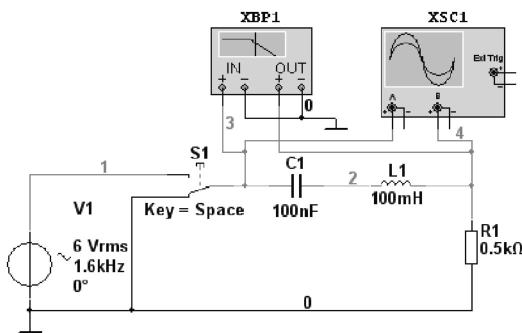


图 6-15　RLC 串联谐振电路

2. 电路发生谐振时的相频特性

在图 6-15 中，将开关 S1 拨至信号源，信号源的频率设置为 1.6kHz。启动仿真开关，

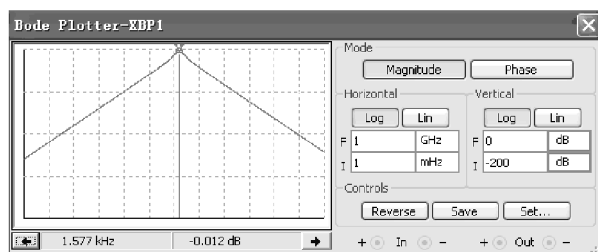


图 6-16　波特图示仪仿真结果

此时电路发生谐振。双击波特图示仪 XBP1 图标，弹出波特图示仪面板，单击 Phase 按钮，可得到串联谐振电路的相频特性曲线，如图 6-17 所示。

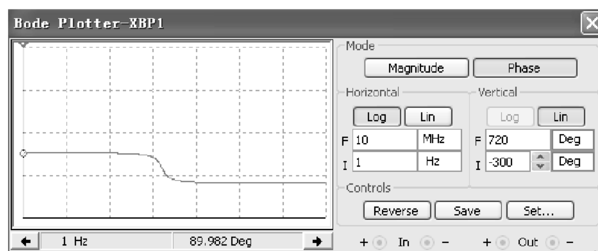


图 6-17　相频特性曲线

3. 谐振时电阻 R1 上的波形

在图 6-15 中，将开关 S1 拨至信号源，信号源的频率设置为 1.6kHz。启动仿真开关，此时电路发生谐振。双击示波器 XSC1 图标，弹出示波器面板，如图 6-18 所示。可以看到电阻 R1 上的波形与信号源的波形同相位，说明电路发生谐振时，电路呈阻性。

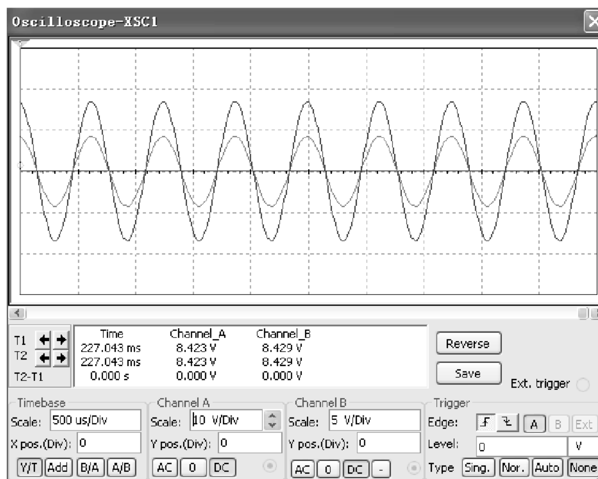


图 6-18　谐振时电阻 R1 上的波形

4. 失谐时电阻 R1 上的波形

改变信号源频率为 5kHz，重新启动仿真，得到电阻 R1 上的波形如图 6-19 所示。可见，电阻 R1 上的波形相位滞后于信号源波形的相位，说明电路呈感性。

改变信号源频率为 0.5kHz，重新启动仿真，得到电阻 R1 上的波形如图 6-20 所示。可

见，电阻 R1 上的波形相位超前于信号源波形的相位，说明电路呈容性。

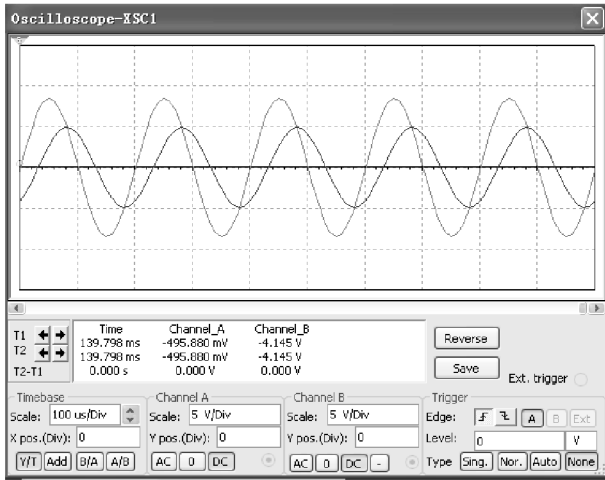


图 6-19　信号源频率高于谐振频率时的波形

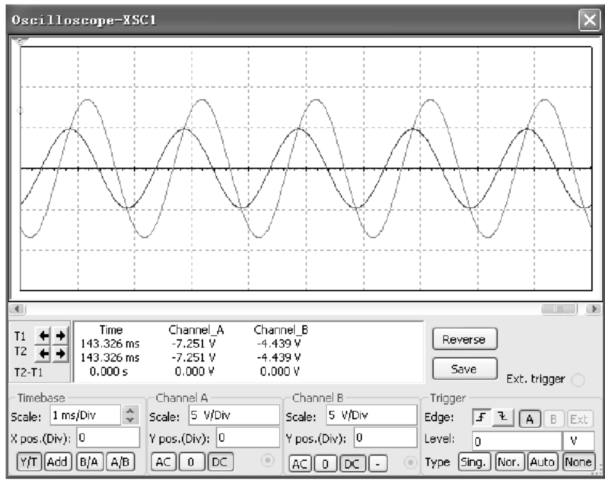


图 6-20　信号源频率低于谐振频率时的波形

6.4　半波整流电路仿真分析

6.4.1　半波整流电路原理简述

二极管具有单向导电的特性，可将正负变化的交流电变换为单一方向的直流电，这一过程称为整流。半波整流仿真分析电路如图 6-21 所示。

半波整流电路电阻性负载输出电压平均值 U_L 与交流电压有效值 U 的关系为

$$U_L = 0.45U$$

6.4.2 搭建半波整流仿真分析电路

1. 元器件选取

（1）电源 V1：Place Source→POWER _ SOURCES→AC _ POWER，依据仿真图要求设置。

（2）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（3）电阻：Place Basic→RESISTOR，选取 1kΩ。

（4）二极管：Place Diodes→DIODE，选取 IN4001。

（5）电压表：Place Indicators→VOLTMETER，设置为直流。

（6）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建图 6-21 所示的半波整流仿真电路

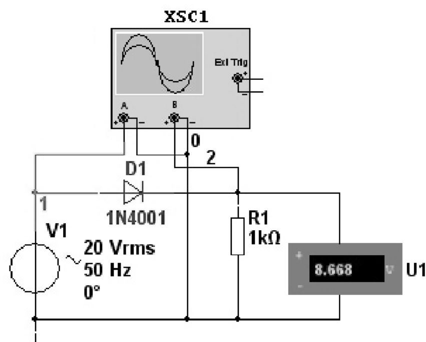


图 6-21 半波整流仿真分析电路

6.4.3 仿真分析

单击仿真开关，并双击示波器图标打开其面板，示波器屏幕上的波形如图 6-22 所示。

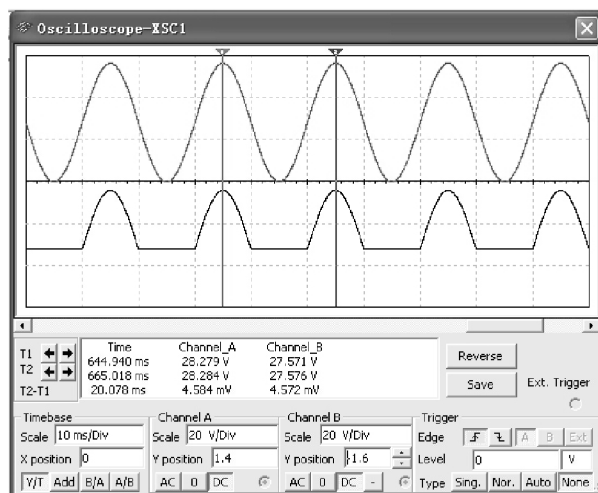


图 6-22 半波整流电路仿真分析波形

6.5 桥式整流滤波电路仿真分析

6.5.1 电路原理简述

桥式整流仿真电路如图 6-23 所示。

当负载为电阻时，输出的直流电压平均值 U_L 与输入交流电压有效值 U 的关系为

$$U_L = 0.9U$$

整流滤波电路的平均直流输出电压，在小电流输出的情况下，全波整流电容滤波电路（包括桥式整流电容滤波电路）的直流输出电压可估算为交流电压有效值的 1.2 倍，即

$$U_{cL} \approx 1.2U$$

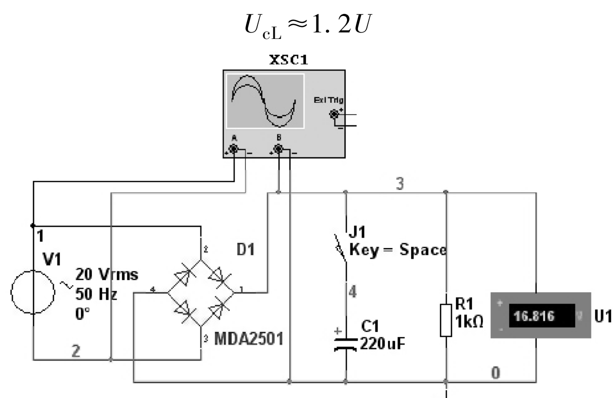


图 6-23　桥式整流滤波仿真电路

6.5.2　搭建桥式整流滤波仿真电路

1. 元器件选取

（1） 电源 V1：Place Source→POWER _ SOURCES→AC _ POWER，依据仿真图要求设置。

（2） 接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（3） 电阻：Place Basic→RESISTOR，选取 1kΩ。

（4）整流桥：Place Diodes→FWB，选取 MDA2501。

（5）电容：Place Basic→CAPACITOR，设置电容值 220μF。

（6） 开关 J1：Place Elector _ Mechanical→SENSING _ SWITCHES→LIMIT _ NO。

（7）电压表：Place Indicators→VOLTMETER，设置为直流。

（8） 示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建图 6-23 所示为桥式整流滤波仿真电路

6.5.3　桥式整流滤波电路仿真分析

（1）单击仿真开关，激活电路，双击示波器 XSC1 图标，屏幕上显示的桥式整流电路的波形如图 6-24 所示，上面波形为交流输入，下面波形为直流输出。

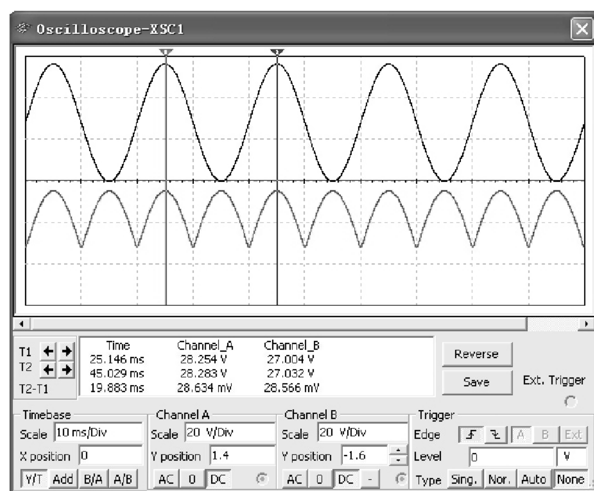
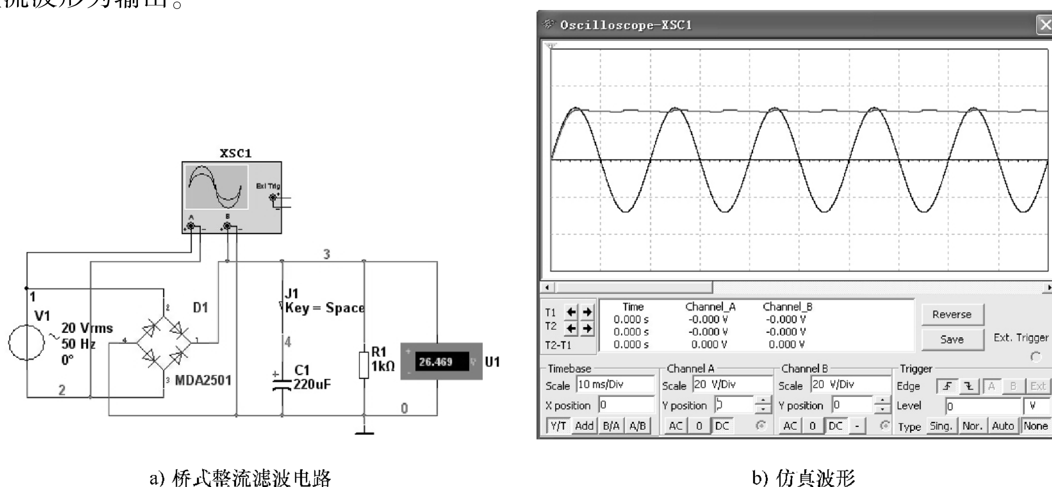


图 6-24　桥式整流仿真分析波形

（2）单击仿真暂停按钮，停止仿真。单击电路中的 J1 开关，J1 闭合，组成桥式整流滤波仿真电路，如图 6-25a 所示。单击仿真开关，激活电路，双击示波器 XSC1 图标。屏幕上即显示桥式整流滤波电路的仿真波形，如图 6-25b 所示，其中交流正弦波波形为输入，脉动直流波形为输出。



a) 桥式整流滤波电路　　b) 仿真波形

图 6-25　桥式整流滤波电路及仿真波形

6.6　单管共射放大电路仿真分析

6.6.1　单管共射放大电路原理简述

1. 单管共射放大电路的静态工作点

单管共射放大电路如图 6-26 所示。

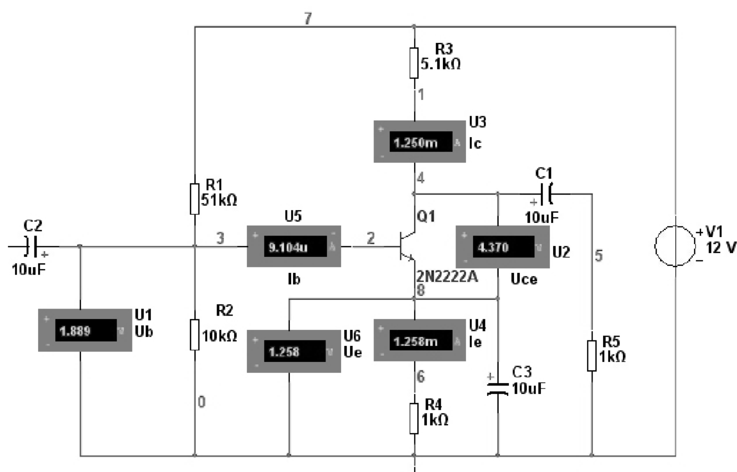


图 6-26　单管共射放大电路

发射极电流 I_E 可用发射极电压 U_E 除以发射极电阻 R_E 求出，而 $U_E=U_B-U_{BE}$，所以

$$I_E=(U_B-U_{BE})/R_E$$

静态集电极电流 I_{CQ} 近似等于发射极电流 I_E

$$I_{CQ}=I_E-I_B\approx I_E$$

静态集—射电压 U_{CEQ} 可用基尔霍夫电压定律计算，因此

$$U_{CC}\approx I_E R_C+U_{CEQ}+I_E R_E$$

因为 $I_{CQ}\approx I_E$，所以

$$U_{CEQ}\approx U_{CC}-I_{CQ}(R_C+R_E)$$

2. 单管共射放大电路电流放大系数和电压放大倍数

晶体管的直流电流放大系数 β 可用静态集电极电流与基极电流之比来计算

$$\beta=I_{CQ}/I_{BQ}$$

放大器的电压增益 A_v 可用交流输出电压峰值 U_{OP} 除以输入电压峰值 U_{ip} 来计算

$$A_v=U_{OP}/U_{ip}$$

在单级共射放大器中，集电极等效交流负载电阻 R'_L，为

$$R'_L=\frac{R_L R_C}{R_L+R_C}$$

晶体管的输入电阻 r_{be} 可估算为

$$r_{be}\approx 300+(1+\beta)\frac{26}{I_e}$$

式中，I_e 为静态发射极电流，也可用静态集电极电流 I_{cq} 来代替。

当发射极旁路电容 C_3 的容量足够大时，C_3 的容抗近似于零，C_3 与发射极电阻 R_e 的并联总阻抗也近似等于零，晶体管的发射极相当于交流接地，则电压增益的计算公式为

$$A_V=-\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

6.6.2 搭建单管共射放大仿真电路

1. 元器件选取

（1）电源 V1：Place Source→POWER _ SOURCES→DC _ POWER，设置电压为 12V。

（2）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（3）电阻：Place Basic→RESISTOR，根据电路设置电阻值。

（4）电解电容：Place Basic→CAP _ ELECTROLIT，设置电容值 10μF。

（5）晶体管：Place Transistors→BJT _ NPN，选取 2N2222A。

（6）电压表：Place Indicators→VOLTMETER，设置为直流。

（7）电流表：Place Indicators→AMMETER，设置为直流。

（8）函数发生器：从虚拟仪器工具栏调取 XFG1。

（9）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建单管共射放大电路的静态工作点仿真电路（见图 6-26）**和如图 6-27 所示的单管共射放大电路电压放大倍数仿真分析图**

6.6.3 单管共射放大电路仿真分析

1. 单管共射放大电路的静态工作点仿真分析

（1）双击图 6-26 中各电压表、电流表图标，弹出其属性对话框后进行设置。

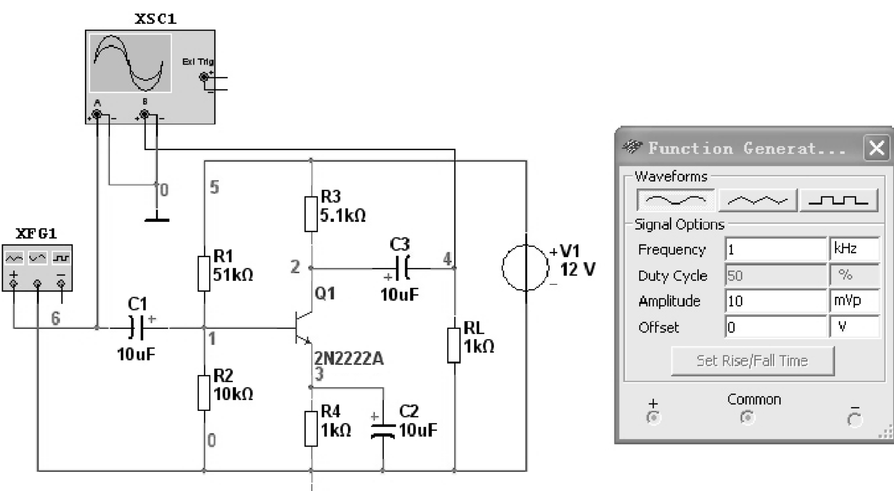


图 6-27 单管共射放大电路电压放大倍数仿真分析

（2）按下仿真开关，激活电路，记录集电极电流 I_C，发射极电流 I_e，基极电流 I_b，集－射电压 U_{ce}、发射极电压 U_e 和基极电压 U_b 的测量值于表 6-1 中。

表 6-1 单管共射放大电路的静态工作点仿真数据

	I_C/mA	I_e/mA	I_b/mA	U_{ce}/V	U_e/V	U_e/V
理论计算值						
仿真测量值						

2. 单管共射放大电路电压放大倍数仿真分析

（1）双击图中各函数发生器、示波器图标，弹出其面板对话框后进行设置。

（2）按下仿真开关，激活电路，双击示波器图标，屏幕显示的输入电压峰值 U_{IM} 与输出电压峰值 U_{OM}，如图 6-28 所示。

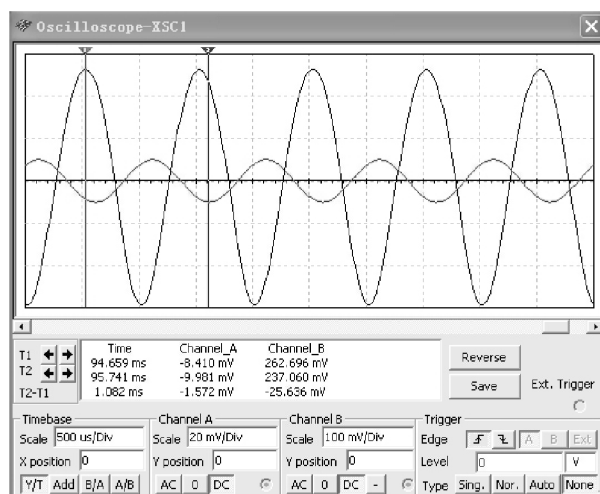


图 6-28 单管共射放大电路输入输出电压波形

（3）将图 6-28 测试值记录于表 6-2 中，计算电压放大倍数 A_V。

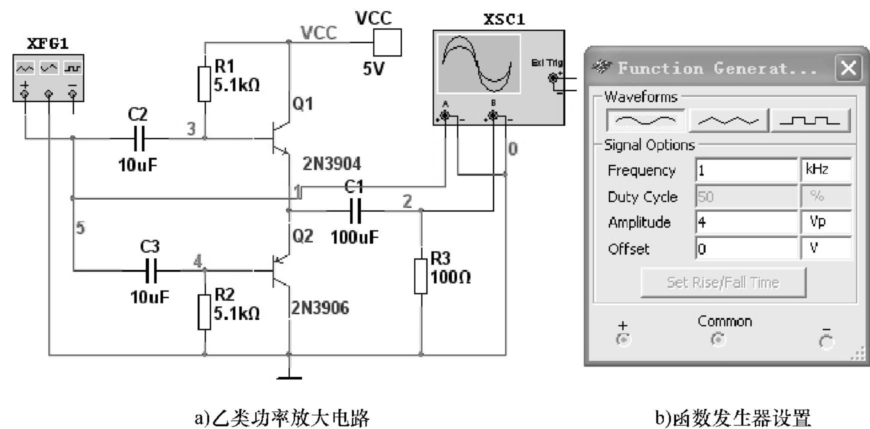
表 6-2　单管共射放大电路电压放大倍数仿真数据

	U_{IM}/V	U_{OM}/V	电压放大倍数 A_V
理论计算值			
仿真测量值			

6.7　乙类功率放大电路仿真分析

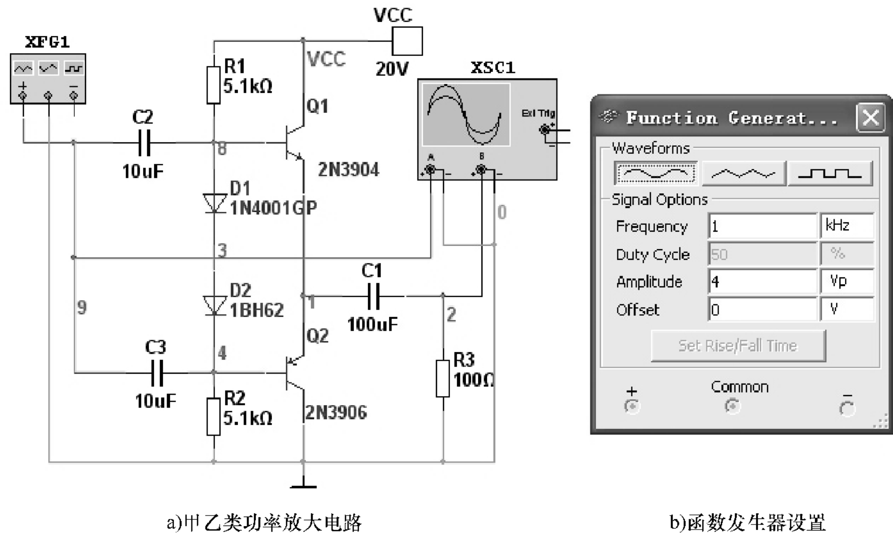
6.7.1　乙类功率放大电路原理简述

晶体管为零偏置的乙类功率放大电路如图 6-29 所示，由于晶体管输入特性存在死区电压，输出信号就会出现交越失真。如果把静态工作点设置得比截止点稍高一些，使放大器工作在甲乙类放大状态，就可有效地消除交越失真，如图 6-30 所示。



a)乙类功率放大电路　　b)函数发生器设置

图 6-29　零偏置乙类功率放大电路及函数发生器设置



a)甲乙类功率放大电路　　b)函数发生器设置

图 6-30　甲乙类功率功率放大电路及函数发生器设置

仿真分析时，用示波器测量输出电压峰值 U_{op} 和输入电压峰值 U_{ip}，便可求出放大器的电压增益为

$$A_V = \frac{U_{op}}{U_{ip}}$$

电压有效值 U_0 为峰值 U_{op} 的 $1/\sqrt{2}$ 倍，因此放大器的最大平均输出功率 P_o 为

$$P_o = \frac{U_0^2}{R_L} = \frac{U_{op}^2}{2R_L}$$

乙类放大器的效率 η 为最大平均输出功率 P_o 除以电源供给功率 P_e，再乘以 100%

$$\eta = \frac{P_o}{P_e} \times 100\%$$

6.7.2　搭建乙类功率放大仿真电路

1. 元器件选取

（1）电源 VCC：Place Source→POWER _ SOURCES→VCC，根据电路设置电压。

（2）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（3）电阻：Place Basic→RESISTOR，根据电路设置电阻值。

（4）电容：Place Basic→CAPACITOR，根据电路设置电容值。

（5）晶体管 Q1：Place Transistors→BJT _ NPN，选取 2N3904。

（6）晶体管 Q2：Place Transistors→BJT _ PNP，选取 2N3906。

（7）函数发生器：从虚拟仪器工具栏调取 XFG1。

（8）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建零偏置乙类功率放大仿真电路（见图 6-29）**和甲乙类功率放大仿真电路**（见图 6-30）

6.7.3　仿真分析

1. 零偏置乙类推挽放大电路仿真分析

（1）图 6-29 中，函数发生器按图 6-29b 所示进行设置。

（2）单击仿真开关激活电路。示波器屏幕显示的输出波形有交越失真，如图 6-31 所示。

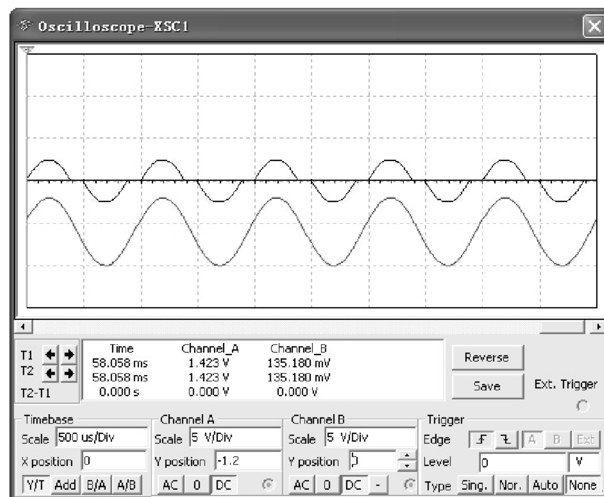


图 6-31　乙类功率放大器仿真波形

2. 甲乙类功率放大电路仿真分析

（1）图 6-30 电路中，函数发生器按图 6-30b 所示进行设置。

（2）单击仿真开关激活电路。示波器屏幕显示的输入和输出波形如图 6-32 所示。

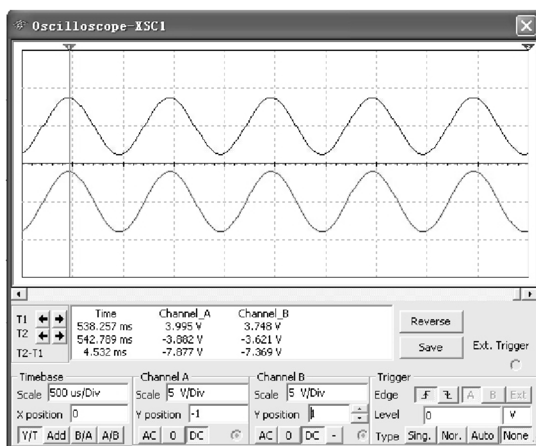
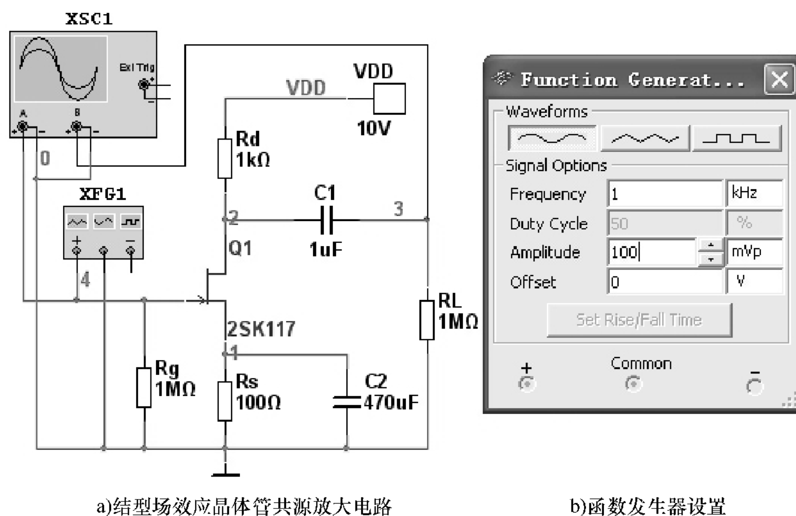


图 6-32　甲乙类功率放大电路仿真分析的输入和输出波形

6.8　结型场效应晶体管共源放大器仿真分析

6.8.1　结型场效应晶体管共源放大电路原理简述

图 6-33 所示为结型场效应晶体管共源放大电路。



a)结型场效应晶体管共源放大电路　　b)函数发生器设置

图 6-33　结型场效应晶体管共源放大电路及函数发生器设置

结型场效应晶体管的跨导 g_m 为漏极电流变化量与栅源电压变化量之比

$$g_{m} = \frac{\Delta I_{d}}{\Delta U_{gs}}$$

放大器的电压增益 A_v 为输出峰值电压 U_{op} 与输入峰值电压 U_{ip} 之比

$$A_v = \frac{U_{op}}{U_{ip}}$$

6.8.2　搭建结型场效应晶体管共源放大仿真电路

1. 元器件选取

（1）电源 VDD：Place Source→POWER _ SOURCES→VDD，根据电路设置电压。

（2）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（3）电阻：Place Basic→RESISTOR，根据电路设置电阻值。

（4）电容：Place Basic→CAPACITOR，根据电路设置电容值。

（5）场效应晶体管 Q1：Place Transistors→JFET _ N，选取 2SK117。

（6）电压表：Place Indicators→VOLTMETER，设置为直流。

（7）电流表：Place Indicators→AMMETER，设置为直流。

（8）函数发生器：从虚拟仪器工具栏调取 XFG1。

（9）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建图 6-33 所示结型场效应晶体管共源放大电路和图 6-34 所示测量跨导 g_m 仿真电路

6.8.3　仿真分析

1. 测量跨导 g_m 仿真分析

单仿真开关激活图 6-34 电路，记录栅源电压 U_{gs} 为 0 时的漏极电流 I_d 于表 6-3 中。将栅极电源电压改为 2V，再单击仿真开关，记录栅源电压 U_{gs} 为 2V 时的漏电流 I_d 于表 6-3 中。则漏极电流的变化量 $\Delta I_d = I_{d1} - I_{d2}$，栅源电压变化量 $\Delta U_{gs} = U_{gs1} - U_{gs2}$。根据 ΔI_d 和 ΔU_{gs}，计算结型场效应晶体管的跨导 g_m。

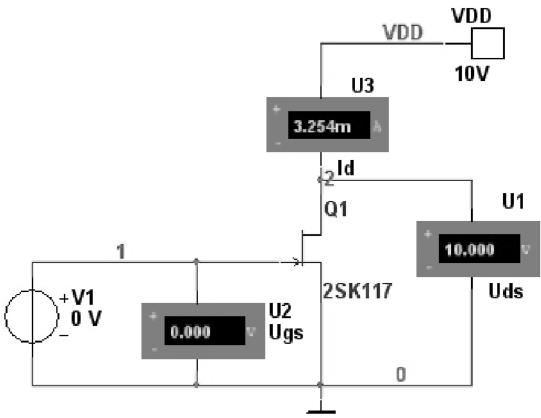


图 6-34　测量跨导 g_m 仿真分析

表 6-3　测试跨导 g_m 仿真数据

	U_{gs}/V	I_d/mA
第 1 次测试		
第 2 次测试		

2. 结型场效应管共源放大电路仿真分析

（1）图 6-33 中，函数发生器可按图 6-33b 所示设置。

（2）单击仿真开关激活电路。双击示波器图标，显示屏上将出现结型场效应晶体管共源放大电路输入和输出电压波形，如图 6-35 所示。

（3）记录输入峰值电压 U_{ip} 和输出峰值电压 U_{op} 于表 6-4 中。并观察记录输出与输入波

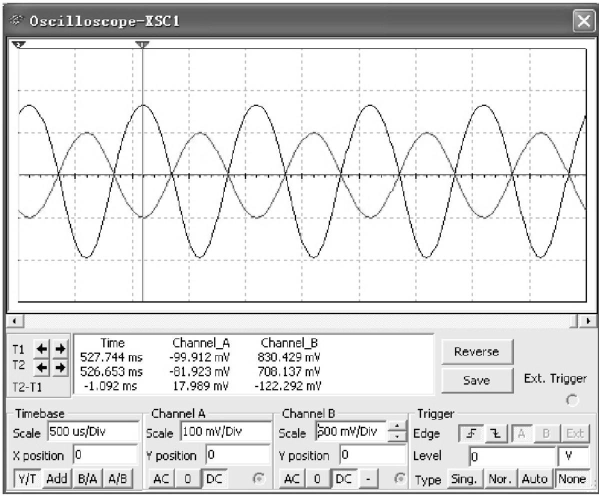


图 6-35　结型场效应晶体管共源放大电路输入和输出电压波形

形之间的相位差。

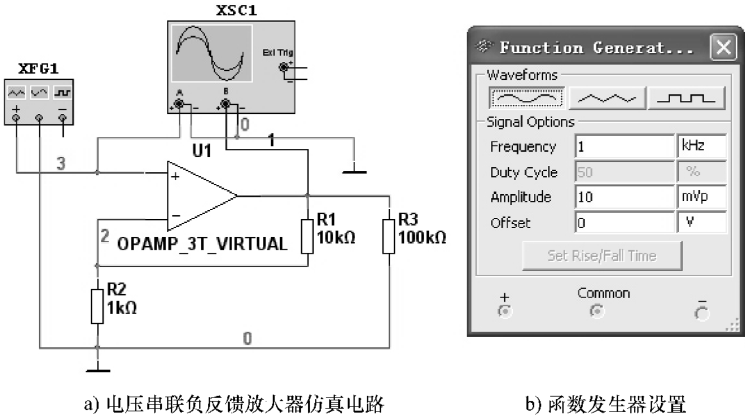
表 6-4　结型场效应晶体管共源放大电路仿真数据

	U_{ip}/V	U_{op}/V	输出与输入波形相位差	电压增益 A_v
仿真测量值				

6.9　电压串联负反馈放大器仿真分析

6.9.1　电压串联负反馈放大器原理简述

图 6-36 所示为电压串联负反馈放大器仿真电路。



a) 电压串联负反馈放大器仿真电路　　b) 函数发生器设置

图 6-36　电压串联负反馈放大器仿真电路

运算放大器的输出端通过 R_1 和 R_2 将输出量引回至放大器的反相输入端，构成电压串联负反馈。根据峰值输入电压 U_{ip} 和峰值输出电压 U_{op} 的测量值，可求出负反馈放大器的闭环电压增益：

$$A_v = \frac{U_{op}}{U_{ip}}$$

闭环电压增益还可用下式计算：

$$A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

6.9.2 搭建电压串联负反馈放大器仿真电路

1. 元器件选取

（1）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（2）电阻：Place Basic→RESISTOR，根据电路设置电阻值。

（3）集成运放：Place Analog→ANALOG _ VIRTUAL，选择 OPAMP _ 3T _ VIRTUAL。

（4）函数发生器：从虚拟仪器工具栏调取 XFG1。

（5）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建电压串联负反馈放大器仿真电路（见图 6-36）

6.9.3 仿真分析

（1）图 6-36 中，函数发生器按图 6-36b 设置。

（2）单击仿真开关激活电路，双击示波器图标，显示屏上将出现放大电路的输入和输出电压波形，如图 6-37 所示。

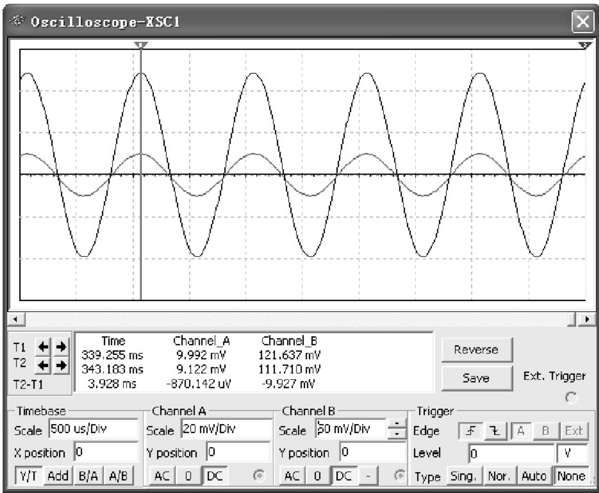


图 6-37 放大电路的输入和输出电压波形

（3）在表 6-5 中记录输入电压峰值 U_{ip} 及输出电压峰值 U_{op}。计算负反馈放大器的闭环电压增益，同时记录输出与输入正弦电压之间的相位差。

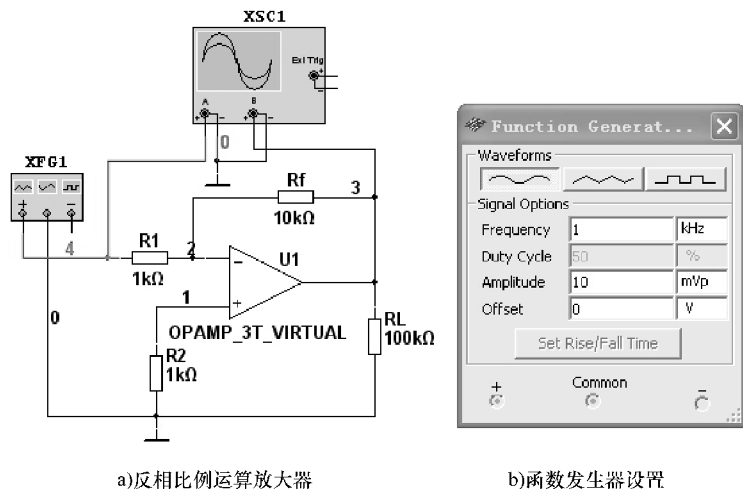
表 6-5 电压串联负反馈放大电路仿真数据

	U_{ip}/V	U_{op}/V	输出与输入波形相位差	电压增益 A_v
仿真测量值				

6.10　反相比例运算放大器仿真分析

6.10.1　反相比例运算放大器原理简述

图 6-38 所示为反相比例运算放大器。



a)反相比例运算放大器　　b)函数发生器设置

图 6-38　反相比例运算放大器及函数发生器设置

根据反相比例运算放大器的输出电压峰值 U_{op} 和输入电压 U_{ip} 峰值之比，可求出闭环电压增益 A_v

$$A_v = \frac{U_{op}}{U_{ip}}$$

闭环增益还可通过元件值求出

$$A_v = -\frac{R_f}{R_1}$$

式中，R_f 为反馈电阻，R_1 为运放的反相输入端电阻。

6.10.2　搭建反相比例运算放大器仿真电路

1. 元器件选取

（1）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（2）电阻：Place Basic→RESISTOR，根据电路设置电阻值。

（3）集成运放：Place Analog→ANALOG _ VIRTUAL，选择 OPAMP _ 3T _ VIRTUAL。

（4）函数发生器：从虚拟仪器工具栏调取 XFG1。

（5）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建图 6-38 所示的反相比例运算放大器仿真电路

6.10.3　仿真分析

（1）图 6-38 中，函数发生器按图 6-38b 设置。

（2）单击仿真开关激活电路，双击示波器图标，显示屏上将出现放大电路的输入和输出电压波形，如图 6-39 所示。

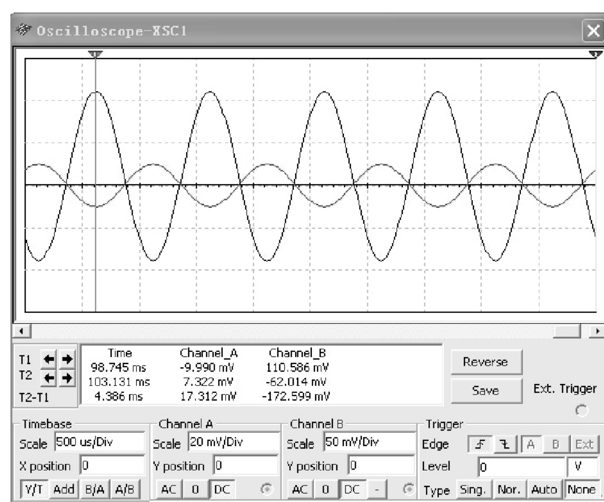


图 6-39　放大电路的输入和输出电压波形

（3）在表 6-6 中记录输入电压峰值 U_{ip} 及输出电压峰值 U_{op}，计算电压增益 A_v，同时记录输出与输入正弦电压之间的相位差。

表 6-6　电压串联负反馈放大电路仿真数据

	U_{ip}/V	U_{op}/V	输出与输入波形相位差	电压增益 A_v
仿真测量值				

6.11　加法电路仿真分析

6.11.1　加法电路原理简述

图 6-40 所示为直流电压输入加法电路。

图 6-41 所示为交流电压输入加法电路。

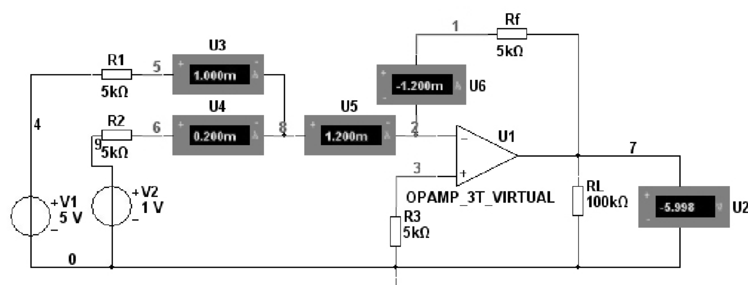


图 6-40　直流电压输入加法电路

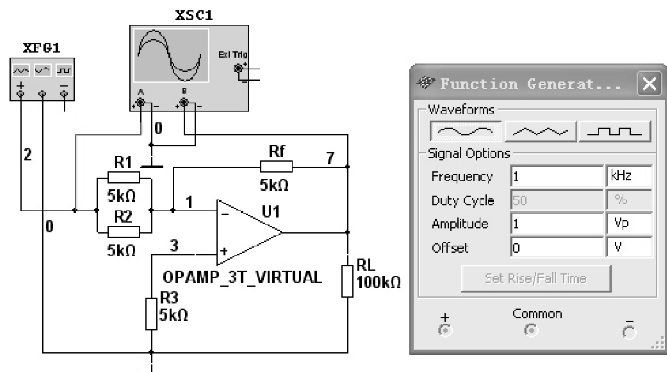


图 6-41　交流电压输入加法器

在图 6-40 所示的加法电路中，运放的反相输入端为虚地。因此，输入电流

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1},\ I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

由基尔霍夫定律，总电流为

$$I = I_1 + I_2$$

因为运放的输入电阻很大，所以反馈电流

$$I_f \approx I = I_1 + I_2$$

由于运放反相输入端虚地，因此加法器的输出电压 U_0 为反馈电阻 R_f 两端电压的负值，即

$$U_0 = -I_f R_f = -(I_1 + I_2)\ R_f = -\left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}\right) R_f = -\left(\frac{R_f}{R}\right)(U_1 + U_2)$$

式中，$R = R_1 = R_2$

对于图 6-40 和图 6-41 所示的电路，输出电压为

$$U_0 = -\left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}\right) R_f = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) U_1 - \left(\frac{R_f}{R_2}\right) U_2 = -\left(\frac{R_f}{R}\right)(U_1 + U_2)$$

6.11.2　搭建仿真电路

1. 元器件选取

（1）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（2）电阻：Place Basic→RESISTOR，根据电路设置电阻值。

（3）集成运放：Place Analog→ANALOG _ VIRTUAL，选择 OPAMP _ 3T _ VIRTUAL。

（4）电压表：Place Indicators→VOLTMETER，设置为直流。

（5）电流表：Place Indicators→AMMETER，设置为直流。

（6）函数发生器：从虚拟仪器工具栏调取 XFG1。

（7）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建图 6-40 所示直流电压输入加法仿真电路和图 6-41 所示交流电压输入加法仿真电路

6.11.3　仿真分析

1. 直流电压输入加法电路仿真分析

（1）图 6-40 中，函数发生器按图设置。

（2）单击仿真开关运行激活电路。记录 I_1、I_2、I、I_f、U_1、U_2 及 U_o 的仿真数据于表 6-7 中。

表 6-7 直流电压输入加法电路仿真数据

	U_1/V	U_2/V	U_o/V	I_1/mA	I_2/mA	I/mA	I_f/mA
仿真测量值							

2. 交流电压输入加法电路仿真分析

（1）单击图 6-41 中的仿真开关运行激活电路。双击示波器图标，显示屏上将出现交流电压输入和输出电压波形，如图 6-42 所示。

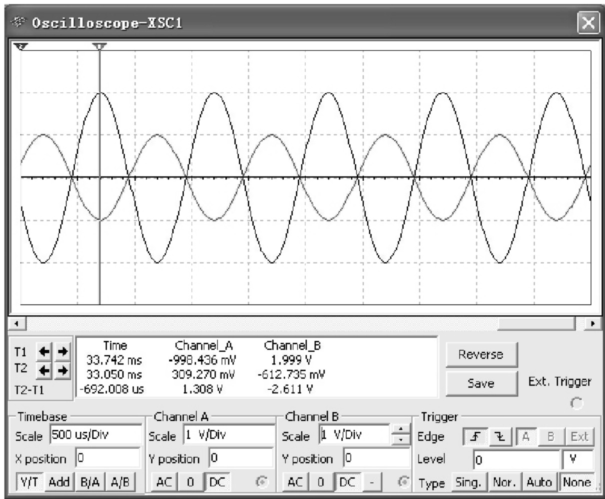


图 6-42 交流电压输入加法电路的输入和输出电压波形

（2）在表 6-8 中记录输入电压峰值 U_{ip} 及输出电压峰值 U_{op}。同时记录输出与输入正弦电压之间的相位差。

表 6-8 交流电压输入加法电路仿真数据

	U_{ip}/V	U_{op}/V	输出与输入波形相位差	输出与输入电压关系
仿真测量值				

6.12 RC 正弦波振荡器仿真分析

6.12.1 RC 正弦波振荡电路原理简述

图 6-43 所示为 RC 正弦波振荡电路。

振荡器是一种具有正反馈网络的选频放大器。谐振时振荡器从输出端反馈回输入端的信号与原输入信号的相位相同。谐振频率由正反馈网络的有关参数决定。为了维持振荡，在谐振频率上环路增益必需等于 1，即

$$AF = 1$$

式中，F 为反馈系数，A 为放大器的电压增益。开始振荡时，为了容易起振，环路增益 AF

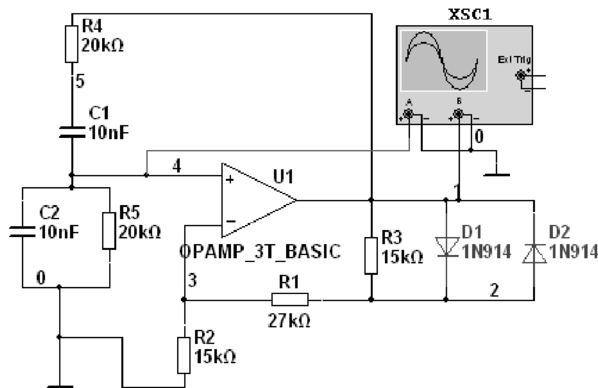


图 6-43　RC 正弦波振荡电路

应该略大于 1。

对于图 6-43 所示的 RC 正弦波振荡电路，放大器为同相比例运算放大器，正反馈选频网络为 RC 串联网络。正常工作时，放大器的闭环电压增益 A 等于 3，正反馈系数为 1/3，环路增益 $AF=3\times(1/3)=1$。开始仿真时没有电流通过二极管，二极管的正向电阻很大，使放大器的电压增益大于 3。随着输出电压的增加，流过二极管的电流将逐步增大，二极管的正向电阻将逐渐减小，放大器的电压增益也随之降低，直至降到 3 为止。达到稳定状态后，RC 正弦波振荡器将输出幅度一定的正弦波。如果放大器的电压增益过高，运放就可能进入饱和状态，这时输出的不再是正弦波，而是方波。

构成图 6-43 所示的 RC 正弦波振荡器的基本放大电路为同相比例放大器。其电压增益为

$$A=\frac{U_{\rm op}}{U_{\rm ip}}=1+\frac{R_{\rm f}}{R_2}$$

式中，$R_{\rm f}$ 为反馈电阻，等于二极管正向电阻与 15kΩ 电阻的并联值加上 R_1 的阻值。因此，RC 正弦波振荡器的起振条件为

$$1+\frac{R_{\rm f}}{R_2}\geqslant 3$$

谐振频率为

$$f_{\rm o}=\frac{1}{2\pi RC}$$

式中，R 的单位为 Ω，C 的单位为 F，$f_{\rm o}$ 的单位为 Hz。

周期 T 为频率 f 的倒数，图 6-43 所示电路谐振时：

$$T=1/f_{\rm o}=2\pi RC=2\times3.14\times20\times10^3\times10\times10^{-9}\text{ms}\approx1.3\text{ms}$$

6.12.2　搭建仿真电路

1. 元器件选取

（1）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（2）电阻：Place Basic→RESISTOR，根据电路设置电阻值。

（3）集成运放：Place Analog→ANALOG _ VIRTUAL，选择 OPAMP _ 3T _ VIRTUAL。

（4）电容：Place Basic→CAPACITOR，根据电路设置电容值。

（5）二极管：Place Diodes→DIODE，选取 IN914。

（6）示波器：从虚拟仪器工具栏调取 XSC1。

2. 搭建图 6-43 所示 RC 正弦波振荡仿真电路

6.12.3 RC 正弦波振荡电路仿真分析

（1）单击仿真开关，激活图 6-43 电路，双击示波器图标，显示屏上将出现 RC 正弦波振荡电路输入输出电压波形，如图 6-44 所示。

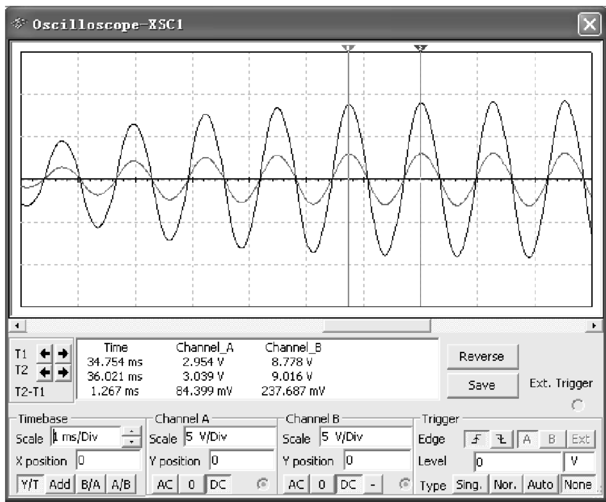


图 6-44 RC 正弦波振荡电路输出电压波形

（2）测量正弦波的周期 T、频率 f、运放的输出峰值电压 U_{op} 及输入峰值电压 U_{ip}，记录在表 6-9 中。

表 6-9 RC 正弦波振荡电路仿真数据

	U_{ip}/V	U_{op}/V	T/V	f/Hz
仿真测量值				

6.13 三端可调输出集成稳压器仿真分析

6.13.1 三端可调输出集成稳压器原理简述

图 6-45 所示为三端可调输出集成稳压器仿真电路。

三端可调输出集成稳压器是在三端固定输出集成稳压器的基础之上发展起来的，用少量外部元器件就可构成可调稳压电路，应用灵活简单。

常用的三端可调输出集成稳压器有：LM117、LM217、LM317 等，图 6-39 所示是一个应用实例。三端可调输出集成稳压器的引脚分为输入端、输出端和调整端。由于三端可调输出集成稳压器的内部，在输出端和调整端之间是 1.25V（用 U_{REF} 表示）的基准电压，所以

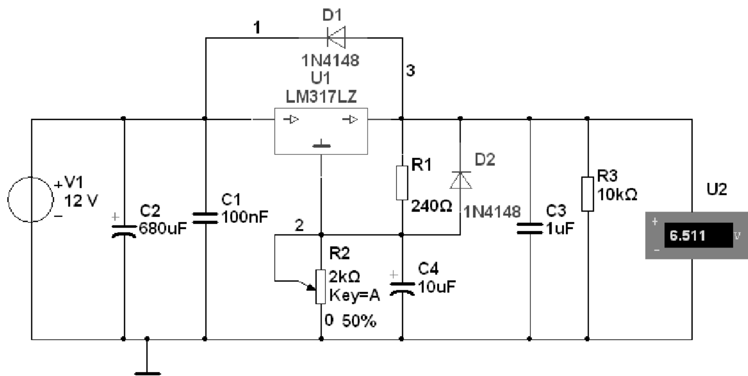


图 6-45　三端可调输出集成稳压器仿真电路

R_1 上的电流值基本恒定。而调整端流出的电流（I_a）很小，在计算时可忽略，因此，输出电压为

$$U_o = U_{REF} + \frac{U_{REF}}{R_1}R_2 + I_a R_2 \approx 1.25 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

式中，R_2 为电位器，调整 R_2 电位器为不同电阻值就可以实现输出电压的可调。

6.13.2　搭建仿真电路

1. 元器件选取

（1）电压源：Place Source→POWER _ SOURCES→DC _ POWER，设置电压 12V。

（2）接地：Place Source→POWER _ SOURCES→GROUND，选取电路中的接地。

（3）三端可调输出集成稳压器：Place Power→VOLTAGE _ REGULATOR，选取 LM317LZ。

（4）电阻：Place Basic→RESISTOR，设置电阻值 1kΩ、2kΩ、10kΩ。

（5）电容：Place Basic→CAPACITOR，设置电容值 100nF、1μF。

（6）电解电容：Place Basic→CAP _ ELECTROLIT，设置电容值 680μF、10μF。

（7）二极管：Place Diodes→DIODE，选取 IN4148。

（8）电压表：Place Indicators→VOLTMETER，设置为直流。

2. 搭建图 6-45 所示为三端可调输出集成稳压器仿真电路

6.13.3　仿真分析

（1）单击仿真开关激活电路，调整 R_2 为 50% 位置即 1kΩ 时观察电压表显示数据，记录在表 6-10 中。

（2）接着调整 R_2 为 100% 位置即 2kΩ 时观察电压表显示数据，记录在表 6-10 中。

表 6-10　三端可调输出集成稳压器仿真数据

	$R_2 = 1k\Omega$ 时	$R_2 = 2k\Omega$ 时
电压表读数/V		

6.14　编码器 74LS148D 的功能测试与仿真分析

6.14.1　编码器 74LS148D 的功能测试电路

图 6-46 所示为 74LS148D 功能测试电路。

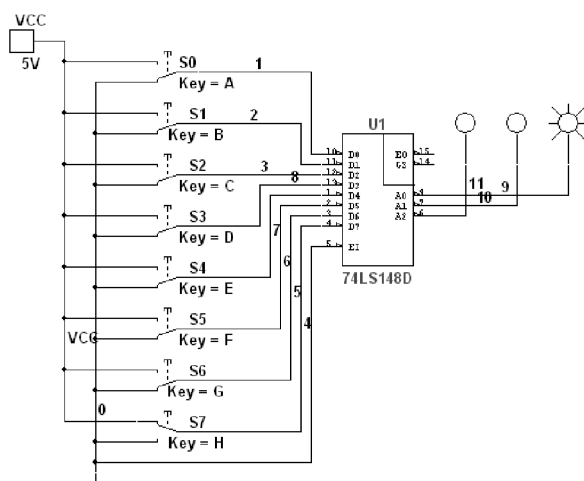


图 6-46　74LS148D 功能测试电路

将具有特定意义的信息编写二进制代码的过程称为编码。实现编码功能的电路称为编码器。常用的编码器可分为普通编码器和优先编码器两类，普通编码器任何时刻只允许输入一个编码信号，否则输出将会出现逻辑混乱，因此输入信号间是相互排斥的。优先编码器不同，允许多个信号同时输入，电路会依照优先级对其中优先级最高的信号进行编码，无视优先级别低的信号，至于优先级别的高低则完全由设计人员根据实际情况所需来决定。

74LS148D 是常用的集成 8 线—3 线优先编码器。图 6-47 是 74LS148D 的逻辑功能表，

Component Reference

隐藏　定位　后退　前进　打印　选项(O)

目录

74xx148 (8-to-3 Priority Enc)

This TTL encoder features priority decoding of the inputs to ensure that only the highest-order data line is encoded. It encodes eight data lines to three-line (4-2-1) binary (octal).

8-line to 3-line priority encoder truth table:

	INPUTS								OUTPUTS				
EI	0	1	2	3	4	5	6	7	A2	A1	A0	GS	EO
1	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	X	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	1
0	X	X	X	X	X	X	0	1	0	0	1	0	1
0	X	X	X	X	X	0	1	1	0	1	0	0	1
0	X	X	X	X	0	1	1	1	0	1	1	0	1
0	X	X	X	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
0	X	X	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
0	X	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1

图 6-47　74LS148D 功能表帮助信息

该功能表可通过双击放置在电路中的 74LS148D 图形符号，在弹出的属性对话框中单击右下角的 info（帮助信息）按钮得到的。

6.14.2　仿真分析

1）搭建图 6-46 所示的 74LS148D 功能测试电路。

2）仿真调试。单击仿真开关激活电路。按下键盘上的[A]、[B]、…[H]键可以设置 S0 ~ S7 的连接位置。由图 6-46 可以看出，S6（连接到 D6）的优先级最高，若 S7 接高电平 1，S6 接低电平 0，其余任意，则输出为 001（110 的反码），所以接 A0 的逻辑探头亮，A1、A2 的逻辑探头不亮。依此方法可以设置其他连接状态，验证图 6-47 所示的 74LS148D 功能表。

6.15　译码器 74LS138N 的功能测试与仿真分析

6.15.1　译码器 74LS138N 的功能测试电路

图 6-48 所示是 74LS138N 的功能测试电路。图 6-49 所示是数字信号发生器设置。

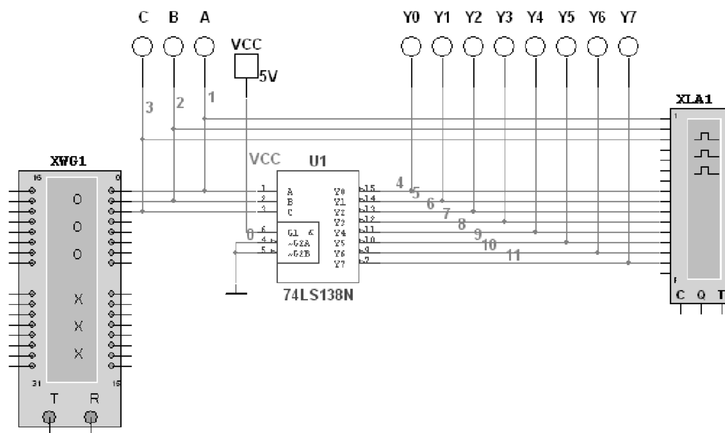


图 6-48　74LS138N 的功能测试电路

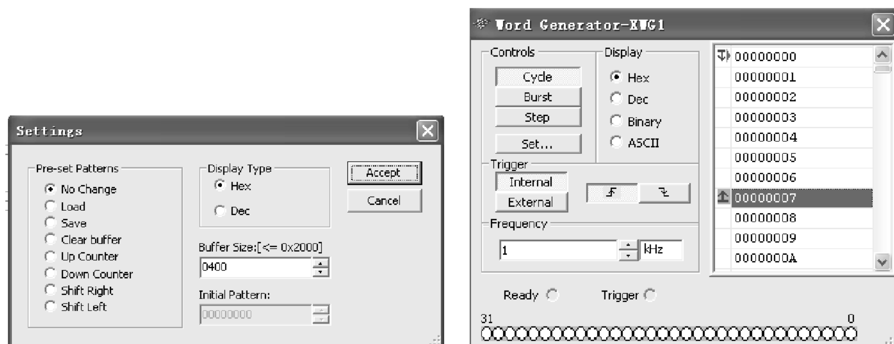


图 6-49　数字信号发生器的设置

译码是编码的逆过程。译码器将输入的二进制代码转换成与代码对应的信号。

若译码器输入的是 n 位二进制代码，则其输出端子数 $N \leqslant 2^n$。$N = 2^n$ 称为完全译码，$N < 2^n$ 称为部分译码。

74LS138N 是常用的集成 3 线—8 线译码器。图 6-50 是 74LS138N 的逻辑功能表，该功能表可通过双击放置在电路中的 74LS138N 图形符号，在弹出的属性对话框中单击右下角的 info（帮助信息）按钮得到的。

Component Reference

隐藏　定位　后退　前进　打印　选项(O)

目录

74xx138 (3-to-8 Dec)

This device decodes one of eight lines dependent on the conditions at the three binary select inputs and the three enable inputs.

3-to-8 decoder/demultiplexer truth table:

$\overline{GL}$	G1	$\overline{G2}$	SELECT C	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	X	1	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1
X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	0	X	X	X	Output corresponding to stored address 0; all others 1							

图 6-50　74LS138N 功能表帮助信息

6.15.2　仿真分析

（1）搭建图 6-48 所示的 74LS138N 功能测试电路，数字信号发生器按图 6-49 所示进行设置。

（2）单击仿真开关激活电路。双击逻辑分析仪图标，弹出其面板，即可显示 74LS138N 的时序波形，如图 6-51 所示。其中的 1、2、3 显示的是 74LS138N 输入信号，4～11 显示的是输出信号。

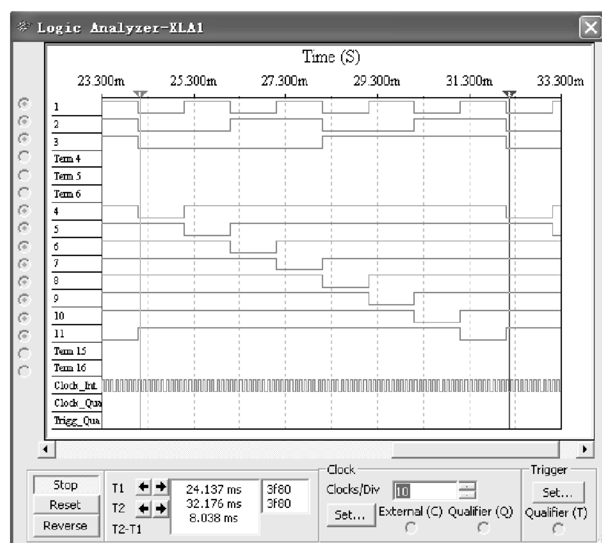


图 6-51　74LS138N 的输入输出时序波形

（3）观察逻辑分析仪显示的输入输出的波形，并在表 6-11 中填写 74LS138N 的真值表。

表 6-11　74LS138N 译码器真值表

A	B	C	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
0	0	0								
0	0	1								
0	1	0								
0	1	1								
1	0	0								
1	0	1								
1	1	0								
1	1	1								

（4）将 74LS138N 功能表与仿真的时序波形进行比较，说明二者存在什么关系。

6.16　集成 D 触发器的功能测试与仿真分析

6.16.1　集成 D 触发器的功能测试电路

图 6-52 所示为集成 D 触发器应用电路。

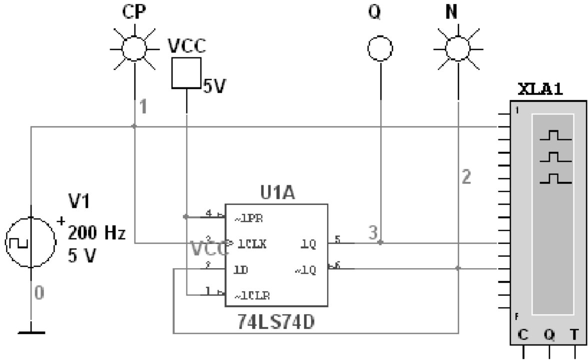


图 6-52　集成 D 触发器功能测试电路

D 触发器是一种常用的边沿触发器，74LS74D 内部集成了两个独立的 D 触发器单元。双击放置在电路中的 74LS74D 图形符号，在弹出的属性对话框中单击右下角的 info（帮助信息）按钮，就得到的图 6-53 所示的 74LS74D 功能表。

6.16.2　集成 D 触发器的应用设计过程与仿真分析

（1）搭建图 6-52 所示的集成 D 触发器应用电路。

（2）仿真调试。单击仿真开关激活电路，观察 3 个逻辑探头的明暗变化，验证 D 触发器的逻辑功能。由于该电路 $\overline{Q}$ 端与 D 端相连接，所以具有计数功能。

（3）双击逻辑分析仪图标，打开逻辑分析仪的面板，设置合适的内部时钟信号，即可显示 D 触发器的工作波形，如图 6-54 所示。

Component Reference

隐藏 定位 后退 前进 打印 选项(O)

目录(

74xx74 (Dual D-type FF (pre, clr))

This device is equipped with active-low preset and active-low clear inputs.

D-type positive-edge-triggered flip-flop truth table:

$\overline{PRE}$	$\overline{CLR}$	CLK	D	Q	$\overline{Q}$
0	1	X	X	1	0
1	0	X	X	0	1
0	0	X	X	1	1
1	1	·	1	1	0
1	1	·	0	0	1
1	1	0	X	Hold	

· = positive edge-triggered

图 6-53 74LS74D 功能表

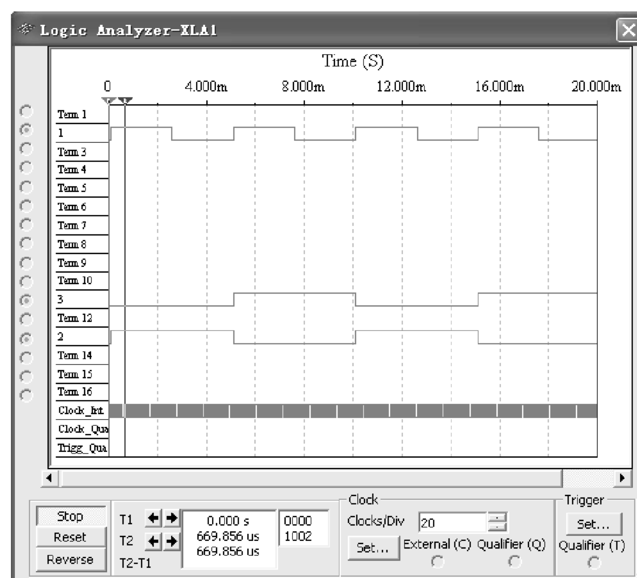


图 6-54 D 触发器的工作波形

（4）观察 D 触发器的工作波形，记录时钟脉冲上升沿与 Q 和 $\overline{Q}$ 翻转的对应关系。

6.17 JK 触发器的功能测试与仿真分析

6.17.1 JK 触发器的功能测试

图 6-55 所示为 JK 触发器功能测试电路。

74LS112D 内部集成了两个独立的 JK 触发器单元。双击放置在电路中的 74LS112D 图形符号，在弹出的属性对话框中单击右下角的 info（帮助信息）按钮，就得到的图 6-56 所示的 74LS112D 功能表。

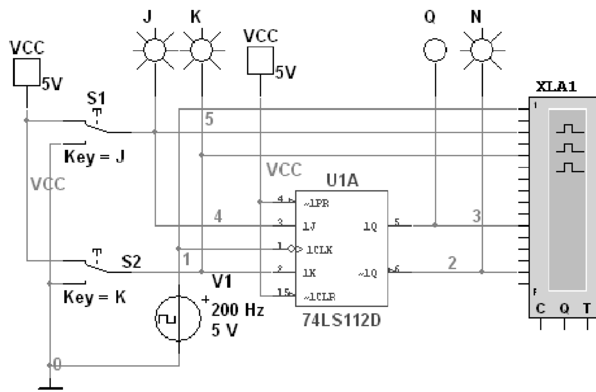


图 6-55　JK 触发器功能测试电路

Component Reference

隐藏　定位　后退　前进　打印　选项(O)

目录

74xx112 (Dual JK FF(-edge, pre, clr))

This device contains two independent J-K negative edge-triggered flip-flops.
JK flip-flop truth table:

INPUTS					OUTPUTS	
$\overline{PRE}$	$\overline{CLR}$	CLK	J	K	Q	$\overline{Q}$
L	H	X	X	X	H	L
H	L	X	X	X	L	H
L	L	X	X	X	H†	H†
H	H	↓	L	L	Q_0	$\overline{Q}_0$
H	H	↓	H	L	H	L
H	H	↓	L	H	L	H
H	H	↓	H	H	Toggle	
H	H	H	X	X	Q_0	$\overline{Q}_0$

† The output levels in this configuration are not guaranteed to meet the minimum levels for V_{OH}. Furthermore, this configuration is nonstable; that is, it will not persist when either $\overline{PRE}$ or $\overline{CLR}$ returns to its inactive (high) level.

图 6-56　74LS112D 功能表

6.17.2　仿真分析

（1）搭建图 6-55 所示的 JK 触发器功能测试电路。

（2）单击仿真开关激活电路，改变 S1、S2 两个逻辑开关的连接，观察 4 个逻辑探头的明暗变化，记录在表 6-12 中。

表 6-12　JK 触发器逻辑功能测试

J	K	Q^n	CP	Q^{n+1}	J	K	Q^n	CP	Q^{n+1}
0	0	0	↑		1	0	0	↑	
			↓					↓	
		1	↑				1	↑	
			↓					↓	
0	1	0	↑		1	1	0	↑	
			↓					↓	
		1	↑				1	↑	
			↓					↓	

（3）双击逻辑分析仪图标，打开逻辑分析仪的面板，设置合适的内部时钟信号，即可显示 JK 触发器的工作波形，如图 6-57 所示。

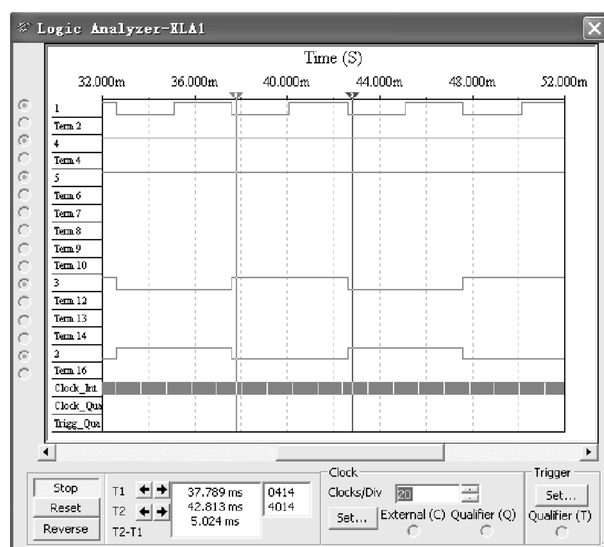


图 6-57　JK 触发器的工作波形

6.18　移位寄存器 74LS194D 的功能测试与仿真分析

6.18.1　双向移位寄存器 74LS194D 的功能测试

图 6-58 所示为双向移位寄存器 74LS194D 功能测试电路。

图 6-59 所示为数字信号发生器的设置。

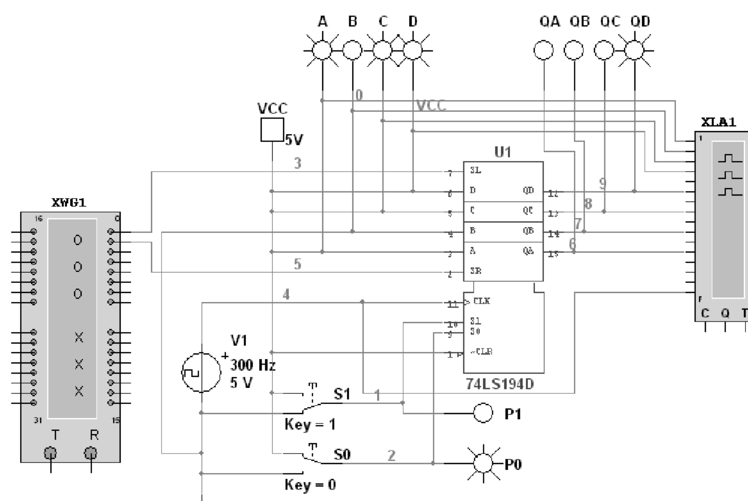


图 6-58　双向移位寄存器 74LS194D 功能测试电路

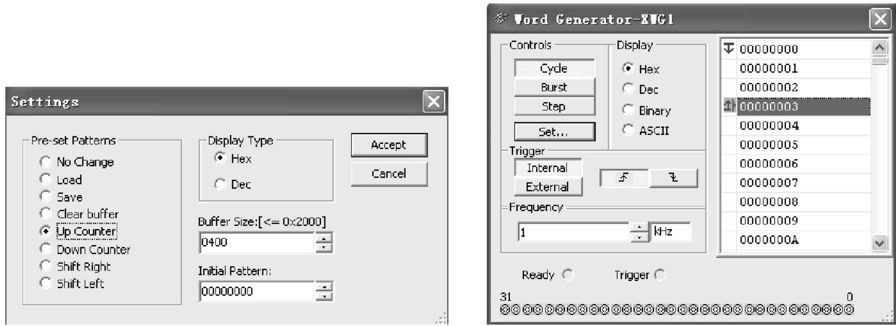


图 6-59　数字信号发生器的设置

74LS194D 是 4 位双向移位寄存器，双击放置在电路中的 74LS194D 图形符号，在弹出的属性对话框中单击右下角的 info（帮助信息）按钮，就得到的图 6-60 所示的 74LS194D 功能表。

Component Reference

隐藏　定位　后退　前进　打印　选项(O)

目录

74xx194 (4-bit Bidirect Univ. Shift Reg)

This bidirectional shift register has parallel-inputs, parallel outputs, right-shift and left-shift serial inputs, operating-mode-control inputs, and a direct overriding clear line.

Shift register truth table:

	MODE			SERIAL		PARALLEL				OUTPUTS			
$\overline{CLEAR}$	S1	S0	CLK	LEFT	RIGHT	A	B	C	D	QA	QB	QC	QD
0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0
1	X	X	0	X	X	X	X	X	X	QA0	QB0	QC0	QD0
1	1	1	·	X	X	a	b	c	d	a	b	c	d
1	0	1	·	X	1	X	X	X	X	1	QAn	QBn	QCn
1	0	1	·	X	0	X	X	X	X	0	QAn	QBn	QCn
1	1	0	·	1	X	X	X	X	X	QBn	QCn	QDn	1
1	1	0	·	0	X	X	X	X	X	QBn	QCn	QDn	0
1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	QA0	QB0	QC0	QD0

· = transition from low to high

a, b, c, d = the level of steady state input at inputs A, B, C, or D respectively

QA0, QB0, QC0, QD0 = the level of QA, QB, QC, or QD, respectively, before the indicated steady state input conditions were established

QAn, QBn, QCn, QDn = the level of QA, QB, QC, or QD before the most recent negative transition of the clock

图 6-60　74LS194D 功能表

由图 6-60 可以看出：

（1）$\overline{CLR}$为清零端，低电平有效；$\overline{CLR}$ = 1 时，允许工作。

（2）S1、S0 为工作方式选择端。当 S1S0 = 00 时，寄存器保持原态；当 S1S0 = 01 时，寄存器工作在向右移位方式，在时钟脉冲 CLK 上升沿到来时，右移输入端 SR 的串行输入数据，依次右移；当 S1S0 = 10 时，寄存器工作在向左移位方式，在时钟脉冲 CLK 上升沿到来时，左移输入端 SL 的串行输入数据，依次左移；当 S1S0 = 11 时，工作在并行输入方式，在时钟脉冲 CLK 上升沿到来时，将 A、B、C、D 输入端输入的数据，经寄存器直接从并行输出端 QA、QB、QC、QD 输出。

6.18.2　仿真分析

（1）搭建图 6-58 所示的双向移位寄存器 74LS194D 仿真电路。双击数字信号发生器图标，打开数字信号发生器面板，设置对应串行输入信号 SR 和 SL 代码的 4 位十六进制数码；

设置输出数据的起始地址（Inital）和终止地址（Final）；设置循环（Cycle）和单帧（Burse）输出速率的输出频率（Frequency）；设置循环（Cycle）输出方式，如图 6-59 所示。

（2）单击仿真开关激活电路，分别按下键盘上的[1]或[0]键，设置 S1S0 参数，决定双向移位寄存器的工作方式。通过观测逻辑探头的亮暗状态可以发现，当 S1S0 = 00 时，寄存器保持原态；当 S1S0 = 01 时，寄存器工作在向右移位方式，此时右移输入端 SR 的串行输入数据为 0101，4 个数循环，所以可以观测到 4 个探头分 QA、QC 和 QB、QD 两组间隔点亮；当 S1S0 = 11 时，工作在并行输入方式，可观测到并行输出端 QA、QB、QC、QD 的 4 个探头的状态与输入端 A、B、C、D 的 4 个探头的状态一一对应且完全相同。

（3）打开逻辑分析仪面板观测时序图，如图 6-61 所示，与探头指示完全一致。

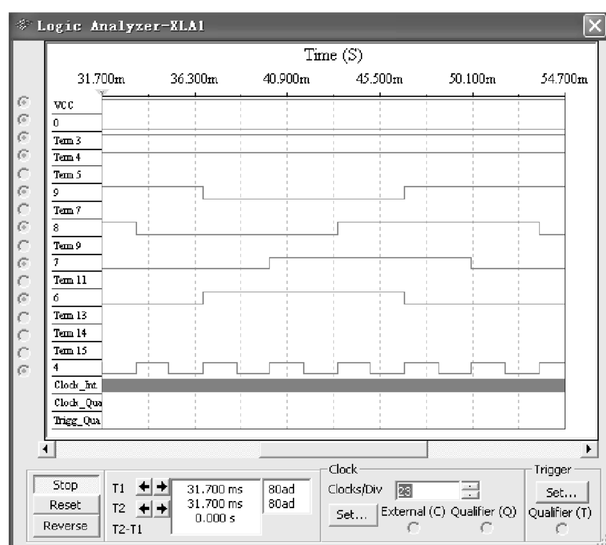


图 6-61　74LS194D 的时序波形

6.19　计数器 74LS192D 的功能测试与仿真分析

6.19.1　计数器 74LS192D 的功能测试电路

图 6-62 所示为集成计数器 74LS192D 功能测试电路。

74LS192D 是同步十进制可逆计数器，它具有双时钟输入，并具有异步清零和置数等功能。图 6-62 中 74LS192D 的“～LOAD”为置数端，“UP”为加计数端，“DOWN”为减计数端，“～CO”为非同步进位输出端，“～BO”为非同步借位输出端，“A”、“B”、“C”、“D”为计数器输入端，“CLR”为清除端，“OA”、“OB”、“OC”、“OD”为数据输出端。

双击图 6-62 电路中的 74LS192D 图形符号，在弹出的属性对话框中单击右下角的 info（帮助信息）按钮，就得到的图 6-63 所示的 74LS192D 功能表。

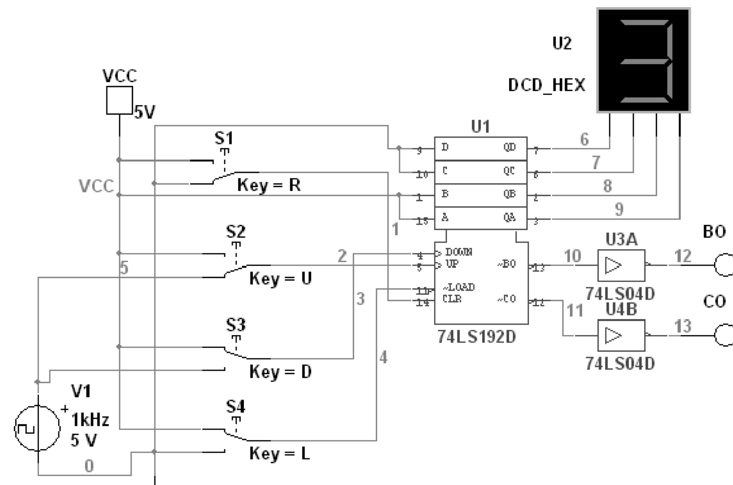


图 6-62　集成计数器 74LS192D 功能测试电路

Component Reference

隐藏　定位　后退　前进　打印　选项(O)

目录

74xx192 (Sync BCD Up/down Counter)

This device is a synchronous, BCD, reversible up/down counter.
Sample up/down counter truth table:

INPUTS								OUTPUTS						OPERATING MODE
MR	$\overline{PL}$	CPU	CPD	D0	D1	D2	D3	Q0	Q1	Q2	Q3	$\overline{TCU}$	$\overline{TCD}$	
1	X	X	0	X	X	X	X	0	0	0	0	1	0	Reset
1	X	X	1	X	X	X	X	0	0	0	0	1	1	
0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	Parallel load
0	0	X	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
0	0	0	X	1	X	X	1	Qn=Dn				0	1	
0	0	1	X	1	X	X	1	Qn=Dn				1	1	
0	1	·	1	X	X	X	X	Count up				1^1	1	Count up
0	1	1	·	X	X	X	X	Count down				1	1^2	Count down

· = transition from low to high
1^1 = $\overline{TCU}$=CPU at terminal count up (HLLH)
1^2 = $\overline{TCD}$=CPD at terminal count down (LLLL)

图 6-63　74LS192D 功能表

6.19.2　仿真分析

（1）搭建图 6-62 所示集成计数器 74LS192D 应用电路。

（2）调整各逻辑开关，使 S1 接低电平，S2 接时钟脉冲，S3 接高电平，S4 接高电平，打开仿真开关激活电路，此时计数器工作在十进制加法计数模式，由 9→0 时，“～CO”端产生进位信号，进位逻辑探头亮。

（3）逻辑开关 S1、S4 保持不变，S2、S3 换接位置，打开仿真开关激活电路，此时计数器工作在十进制减法计数模式，由 0→9 时，“～BO”端产生借位信号，借位逻辑探头亮。

（4）将逻辑开关 S4 接低电平，此时计数器工作在异步预置数模式，若输入端 DCBA = 0011 不变化，打开仿真开关激活电路，此时数码管固定显示 3 也不变化。

6.20　单稳态触发器设计与仿真分析

6.20.1　单稳态触发器应用设计分析

图 6-64 所示为 555 单稳态触发器应用电路。

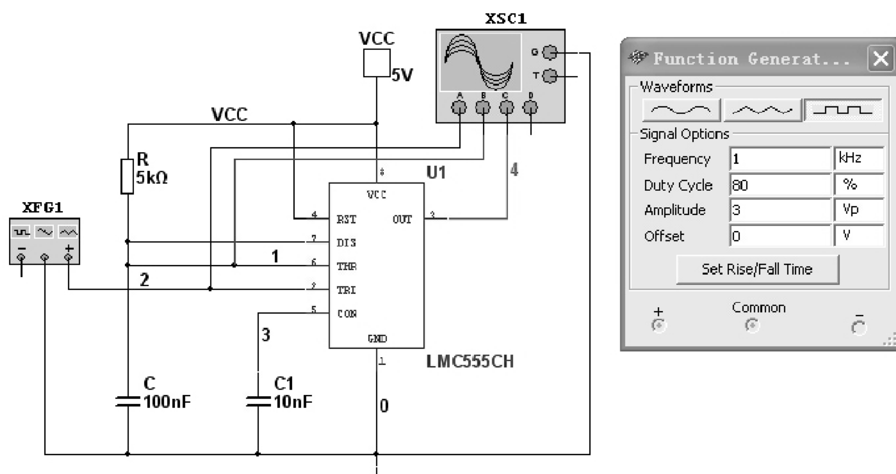


图 6-64　555 单稳态触发器应用电路

用 555 构成的单稳态电路。图中，R、C 为外接定时元件，复位端 RST 接电源 U_{DD}，THR 端与放电端 DIS 短接后接 R、C 间连线，CON 端接旁路电容 C_1，输入触发信号 u_i 接在低触发 TRI 端，输出信号 u_o 取自 OUT 端。

输出脉冲宽度按下式计算：

$$t_w \approx RC\ln 3 \approx 1.1RC$$

输出脉冲宽度 t_w 与定时元件 R、C 大小有关，而与电源电压、输入脉冲宽度无关，改变定时元件 R 和 C 可改变输出脉宽 t_w。

6.20.2　单稳态触发器的应用设计过程与仿真分析

（1）搭建图 6-64 所示为 555 单稳态触发器应用电路，函数信号发生器按图示进行设置。

（2）单击仿真开关激活电路，双击示波器图标，打开示波器面板，即可显示图 6-65 所示的 555 单稳态触发器的工作波形。最上面的方波为输入脉冲，中间为电容 C 充电波形（即暂态），下面是输出波形。

（3）利用示波器提供的游标测量线，测试示波器显示的输出波形宽度。

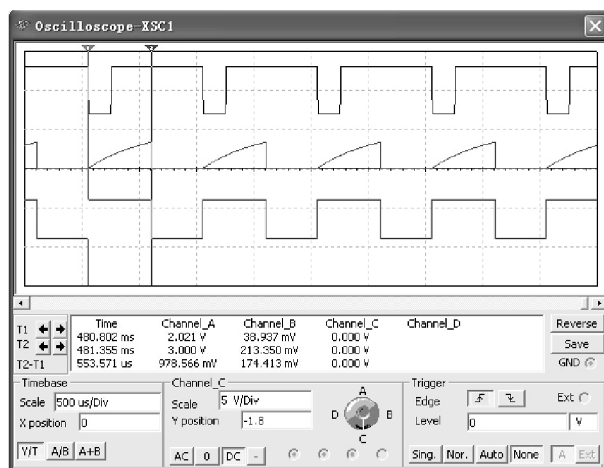


图 6-65　555 单稳态触发器的工作波形

6.21　方波发生器设计与仿真分析

6.21.1　方波发生器设计分析

图 6-66 所示为 555 多谐振荡器应用电路。

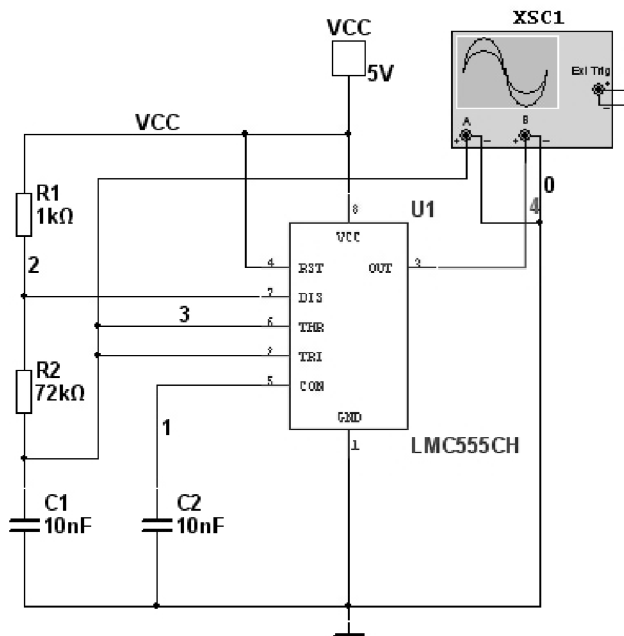


图 6-66　555 多谐振荡器应用电路

用 555 定时器连成的多谐振荡器电路。电路的振荡频率 f 和输出矩形的占空比由外接元件 R_A、R_2 和 C_2 决定。C_1 为控制输入端 CON 的旁路电容。

对于图 6-66 所示的多谐振荡电路，在一周期内输出低电平的时间 t_1、输出高电平的时间 t_2、振荡周期 T、振荡频率 f 及占空比 q 的近似值可由下列公式求出

$$t_1 = 0.7R_1C_2$$

$$t_2 = 0.7(R_1 + R_2)C_2$$

$$T = t_1 + t_2 = 0.7(R_1 + 2R_2)C_2$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$q = \frac{t_2}{t_1 + t_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$$

6.21.2 方波发生器应用设计过程与仿真分析

（1）搭建图 6-66 所示为 555 多谐振荡器应用电路。

（2）单击仿真开关激活电路，双击示波器图标，打开示波器面板，即可观测图 6-67 所示的 555 多谐振荡器的工作波形。上面的为电容 C 充电波形，下面是输出波形。

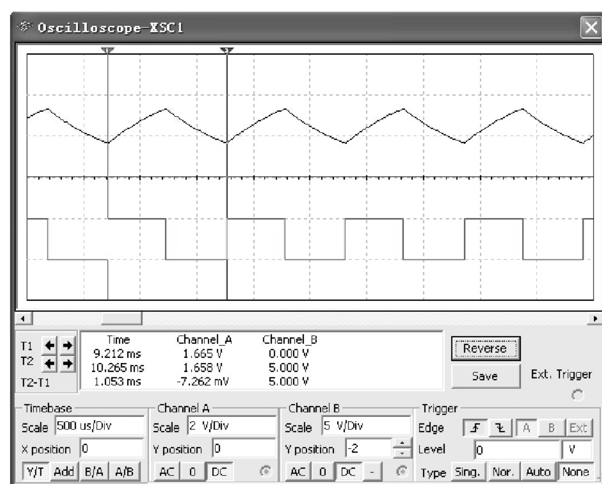


图 6-67　555 多谐振荡器的工作波形

（3）利用示波器提供的游标测量线，测试示波器显示的输出波形低电平时间和高电平时间。

6.22 数－模转换器设计与仿真分析

6.22.1 数－模转换器设计分析

图 6-68 所示为数－模转换器应用电路。

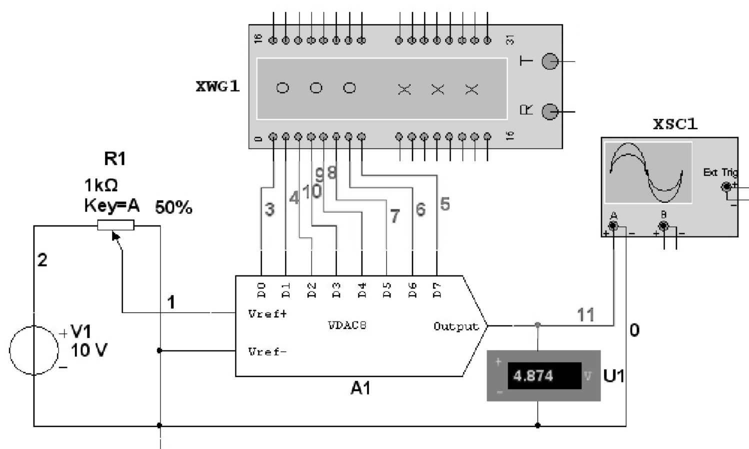


图 6-68　数 – 模转换器应用电路

把数字信号转换为模拟信号称为数 – 模转换或 DAC。把实现数 – 模转换的电路称为数 – 模转换器，简称 DAC。

在图 6-68 电路中，数字信号发生器产生数字信号与 DAC 连接，设置数字信号发生器能够连续地输出从 0 ~ 255 的数字。这种连接方式使 8 位 DAC 能够覆盖 0 ~ 5V 整个输出范围，并完成 255 级 8 位计数。从示波器上观察到的 255 级计数的输出电压特性曲线更像条直线。在任何指定的电压范围内，计数级数越多，则 DAC 的输出越接近真实的模拟信号，数 – 模转换的分辨率也越高。

6. 22. 2　数 – 模转换器应用设计过程与仿真分析

（1）搭建如图 6-68 所示的仿真电路，数字信号发生器的设置按图 6-69 设置。

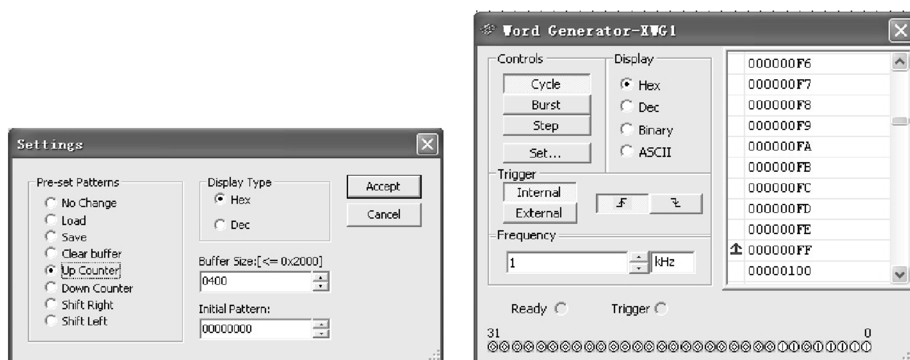


图 6-69　数字信号发生器的设置

（2）单击仿真开关激活电路。调整 1kΩ 电位器，使 DAC 输出电压尽量接近 5V，这时 DAC 的满度输出电压设置为 5V。

（3）双击示波器图标，打开示波器面板，观察示波器显示的电压波形（见图 6-70）和电压表指示值的变化。

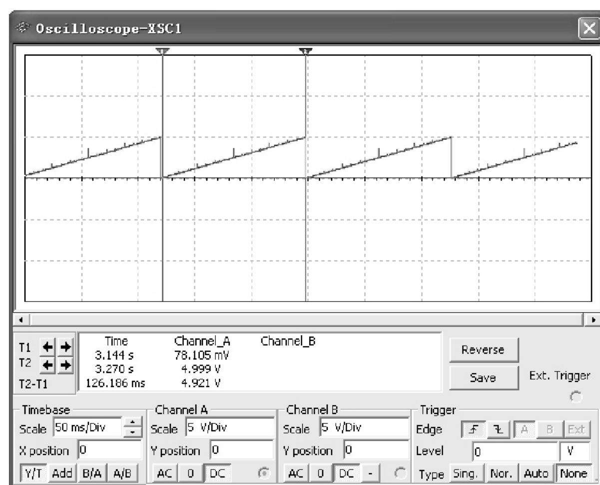


图 6-70　示波器显示的电压波形

6.23　模－数转换器设计与仿真分析

6.23.1　模－数转换器设计分析

图 6-71 所示为模－数转换器应用电路。

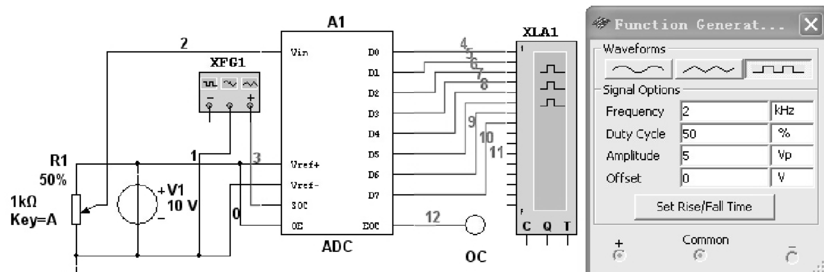


图 6-71　模－数转换器应用电路

模－数转换器用来将模拟电压信号转换成一组相应二进制数码输出。

图 6-71 为 8 位 ADC 电路，可用来研究模－数转换器模拟输入与数字输出之间的关系。调整 VREF＋可设置 ADC 满度输入电压。为了设置模拟输入电压 V_{IN}，则须调整 1kΩ 电位器，电压变化范围为 0～10V，如果在 SOC 输入端加上大小为“1”的窄脉冲，则 ADC 开始转换，转换结束时 EOC 端输出“1”，使能端 OE 接高电平有效，OE 为“1”时 ADC 有数字信号输出。在图中，OE 直接 5V 电源，使 ADC 能够连续输出。

6.23.2　模－数转换器应用设计过程与仿真分析

（1）搭建如图 6-71 所示的应用电路。函数信号发生器按图设置。

（2）单击仿真开关进行动态分析。调整 1kΩ 电位器使模拟输入电压 V_{IN} 尽可能接近 10.0V，观察记录逻辑分析仪上输出 8 位数字的波形，然后再输入其他的模拟电压 V_{IN}，并

在表 6-13 中记录相应的数字输出。

表 6-13　模 – 数转换器仿真数据

V_{IN} / V	10.0	5.0	3.0	1.0
输出 8 位数字（二进制）				
对应十进制数				

6.24　单片机控制流水灯电路设计与仿真分析

6.24.1　单片机控制流水灯电路设计分析

单片机控制流水灯电路简单，通过改变程序即可灵活改变灯的流动样式，因此得到较为广泛的应用。图 6-72 所示为单片机控制流水灯电路。

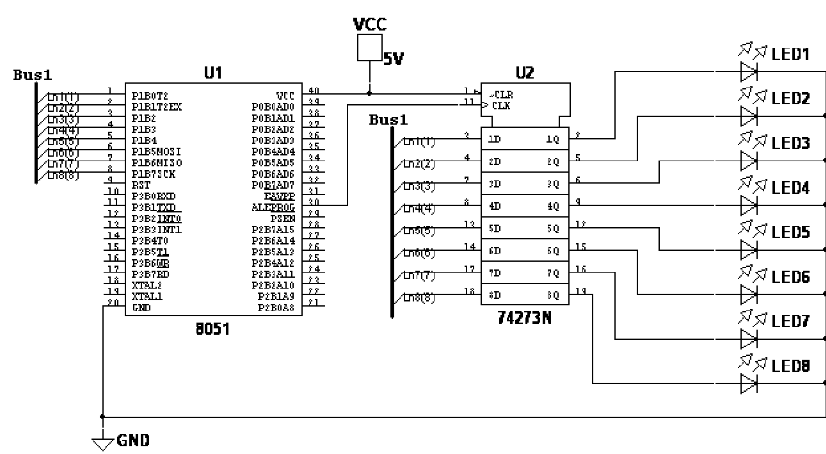


图 6-72　单片机控制流水灯电路

该电路由 8051 芯片作为微处理器，数据锁存器 74273N 作为输出数据的缓存器和放大器，其输出直接连接发光二极管 LED。

6.24.2　单片机控制流水灯设计电路过程与仿真分析

1. 选择单片机元件

单击元件工具栏的按钮，弹出如图 6-73 所示的元件库选择窗口。在此窗口中可以选择放置单片机 8051，单击 OK 按钮即可。

2. 单片机仿真设置向导

选择好单片机型号后，单击 OK 按钮放置时，会出现单片机设置向导，分为 3 个步骤。图 6-74 所示为向导第 1 步，选择好路径并给工作面板取名，单击 Next > 按钮，进入第 2 步设置，如图 6-75 所示。

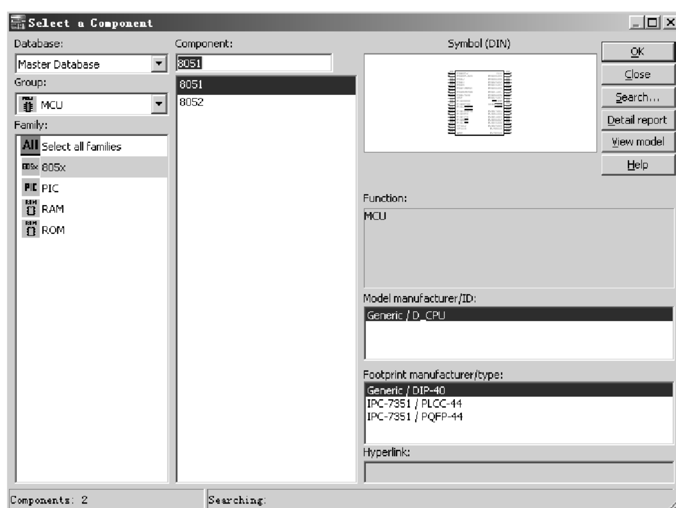


图 6-73　元件库选择窗口

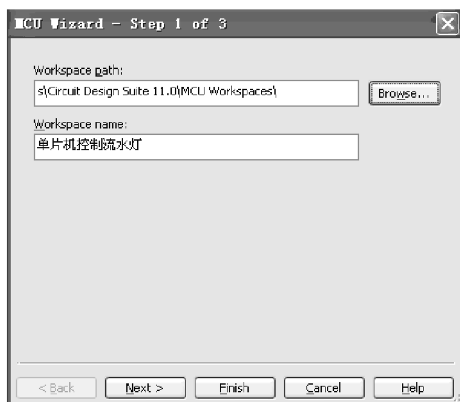


图 6-74　单片机设置向导步骤 1

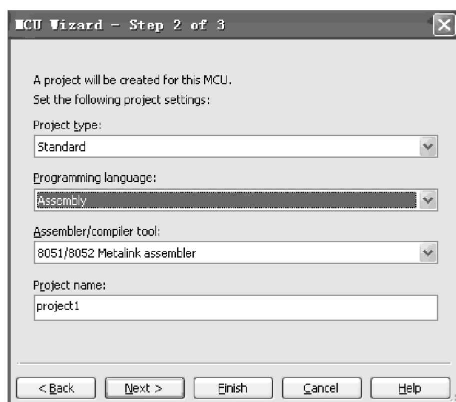


图 6-75　单片机设置向导步骤 2

在第 2 步设置中，设置设计需要使用的语言和编译方式，并给项目文件命名。

（1）Project type（项目类型）：在 Project type 下拉框中有两个选项：Standard（标准）和 Load External Hex File（加载外部 Hex 文件了），可以在 Keil 等环境下编写汇编或 C 源程序，然后生成 Hex 文件，通过加载外部 Hex 文件导入。

（2）Programming language（编程语言）：Programming language 的下拉框有两个选项：C 和 Assembly（汇编），若选择 C，则在 Assembler/compiler tool（汇编器/编译器工具）下拉框会出现"Hi－Tech C51－Lite compiler"；若选择 Assembly（汇编），则出现"8051/8052 Metalink assembler"。

（3）Project name（项目名称）：对所设计的项目取名。

设置完毕，单击 Next > 按钮，进入第 3 步设置，如图 6-76 所示。

根据需要可选择 Create empty project（创建空白的项目文件）或 Add source file（添加已有的资源文件），单击 Finish 按钮完成向导设置，此时工作窗口会显示出单片机模块，如图 6-77 所示。

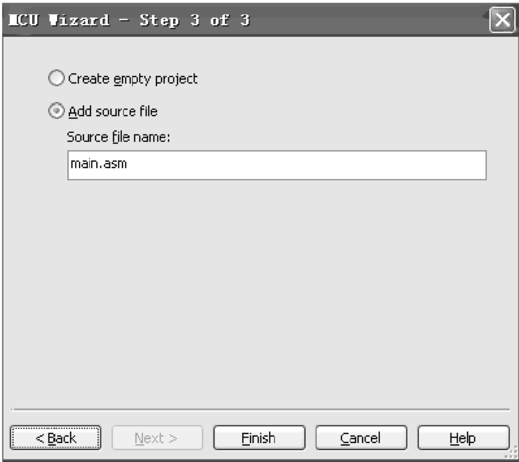


图 6-76　单片机设置向导步骤 3

图 6-77　单片机模块

3. 单片机仿真界面设置

双击单片机模块，弹出单片机设置对话框，如图 6-78 所示。该对话框有 7 个标签页，分别说明如下：

（1） Label 标签页，如图 6-78 所示。该页的设置与其他元件设置一样，不再赘述。

（2） Display 标签页如图 6-79 所示，各项说明如下：

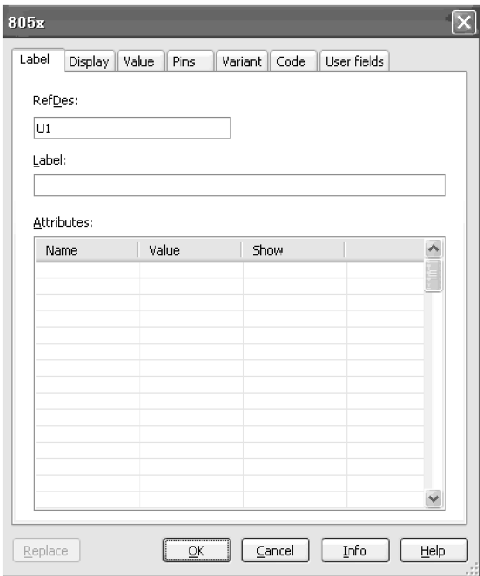


图 6-78　单片机设置对话框

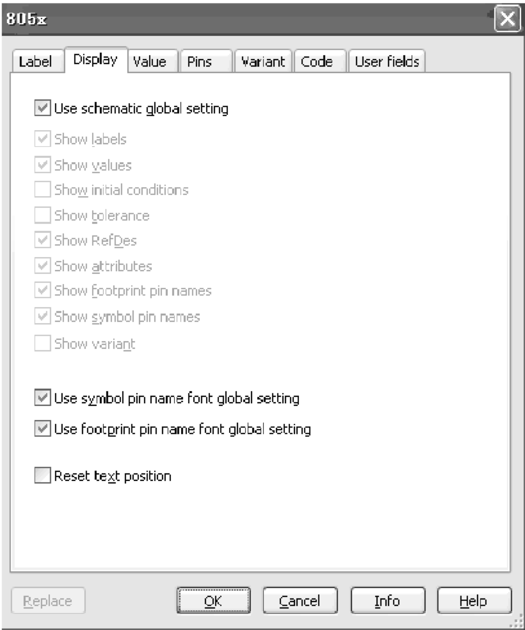


图 6-79　Display 标签页

1） Use Schematic global setting：使用原理图的普通设置。

2） Show labels：显示标签。

3） Show values：显示数值。

4）Show initial conditions：显示初始状态。

5）Show tolerance：显示容差。

6）Show RefDes：显示参考定义。

7）Show attributes：显示属性。

8）Show footprint pin names：显示引脚名称。

9）Show Symbol pin names：显示标志引脚名称。

10）Show variant：显示变量。

11）Use Symbol pin name font global setting：使用标志引脚名字体的普通设置。

12）Use footprint pin name font global setting：使用引脚名字体的普通设置。

13）Reset text position：复位文本位置。

（3）Value 标签页如图 6-80 所示，各项说明如下。

1）Built－in internal RAM：内部数据存贮器容量。

2）Built－in external RAM：外部数据存贮器容量。

3）ROM size：程序存贮器容量。

4）Clock speed：时钟频率。

（4）Pins 标签页如图 6-81 所示，表中列出了单片机各个引脚的名称类型。

（5）Variant 标签页如图 6-82 所示，该页的设置与其他元件设置一样，不再赘述。

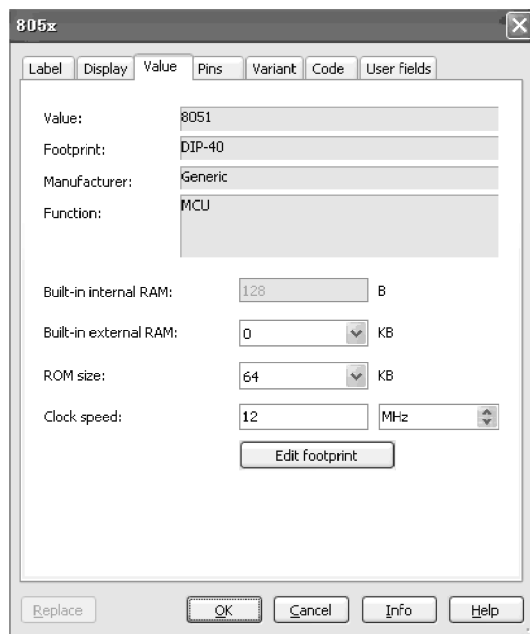


图 6-80　Value 标签页

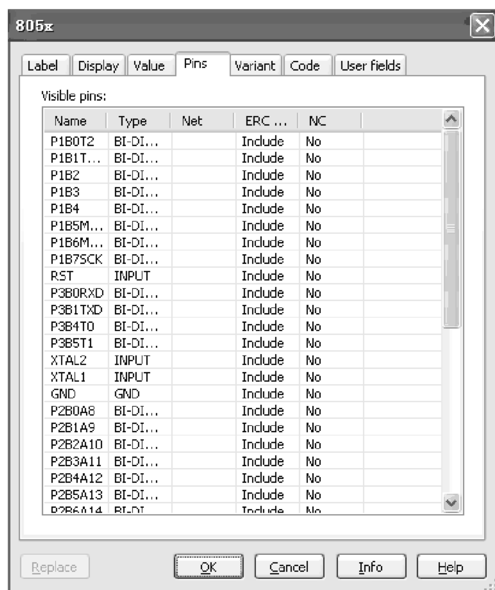


图 6-81　Pins 标签页

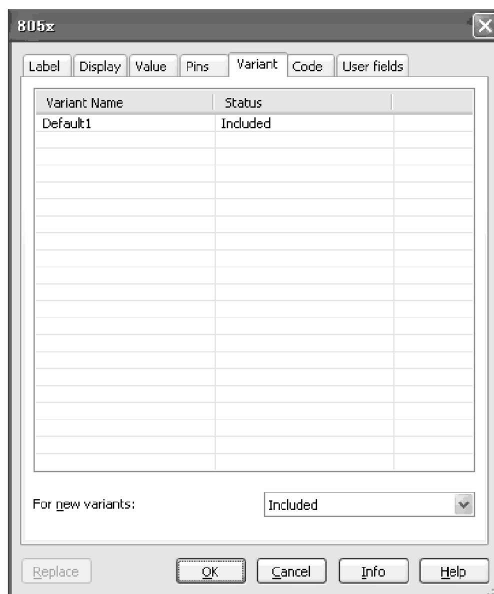


图 6-82　Variant 标签页

（6） Code 标签页如图 6-83 所示，主要显示程序代码的属性。

（7） User fields 标签页如图 6-84 所示，主要显示使用者需要自己标记的备注。



图 6-83　Code 标签页

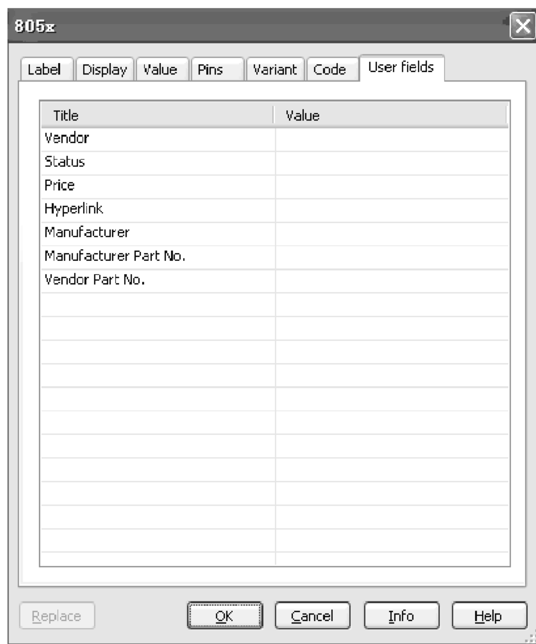


图 6-84　User fields 标签页

上述 7 个标签页设置的主要内容为 Value 和 Pins 标签页中的相关参数。待设置好后，就可以进行电路的搭建了。

4. 搭建仿真电路

搭建如图 6-72 所示单片机控制流水灯电路。单片机 8051 的选择及相关设置如前所述，其他器件的放置如下。

（1） 电压源：Place Source→POWER _ SOURCES→VCC，设置电压 5V。

（2） 接地：Place Source→POWER _ SOURCES→DGND，选取电路中的接地。

（3） 数据锁存器 74273N：Place TTL→Select all families→74273N。

总线放置的操作方法为：

（1） 执行菜单命令 Place \ Bus，进入绘制总线状态。

（2） 拖动所要绘制总线的起点，即可拉出一条总线，到达目的地后双击即可完成该总线，系统自动给出总线的名称，若要修改总线名称，双击该总线打开“Bus Settings”（总线设置）对话框，如图 6-85 所示。在“Bus name”（总线名称）标签页的“Preferred bus name”（首选总线名称）栏内输入新的总线名称，然后单击 OK 按钮即可。

（3） 绘制元件 74273N 与总线 Bus1 连接的单线，单击所要连接的元件引脚，然后单击并移向总线，再单击则出现如图 6-86 所示的“Bus Entry Connection”（总线分支单线连接）对话框，输入单线名称，单击 OK 按钮关闭对话框。

（4）绘制元件 8051 与总线 Bus1 连接的单线，其方法与第一个元件 74273N 与总线 Bus1 连接的单线相同。但要将总线 Bus1 的 Net Name（网络名）修改，表示与第一个元件相对应的引脚连接，否则，仿真将不能得到正确的结果。



图 6-85　总线设置对话框



图 6-86　总线分支连接对话框

5. 源程序的编写、编译和仿真

（1）打开源码编辑区。在图 6-73 中双击 8051 芯片，在弹出的对话框中选择 code（源码）→Properties（属性），进入 MCU code Manager（MCU 源码管理器）→New MCU Project→输入工程名→选定生成的工程→New File→选择文件类型并输入文件名→确定后出现编辑区。

（2）在编辑区输入源程序，如图 6-87 所示。

```
$MOD51  ; This includes 8051 definitions for the Metalink assembler

ORG 0000H
LJMP MAIN
ORG 0660H
MAIN:
MOV A,#01H
LOOP:
MOV P1,A
RR A
LCALL DELAY
LJMP LOOP
DELAY:
MOV R6,#01H
LP:
DJNZ R6,LP
RET
END
```

图 6-87　输入源程序

当然也可以从已编辑好的 . TXT 文件复制到此区域。在仿真时，一定要保留“$MOD51”。

（3）编译链接。将编辑好的源程序保存，单击“RUN（运行）”，若程序无误，一步即可完成编译链接且直接进入仿真，单片机模块工作。若程序编译出错，则会在下方编译信息栏给出错误信息列表，修改错误后，重复编译步骤。

（4）查看仿真结果。将操作界面切换到原理图，即可观察到仿真效果，发光二极管依次点亮，实现流水灯效果。

参 考 文 献

［1］王连英．基于 Multisim 10 的电子仿真实验与设计［M］．北京：北京邮电大学出版社，2009.
［2］许晓华，何春华．Multisim 10 计算机仿真及应用［M］．北京：清华大学出版社，2011.
［3］王廷才．电子技术［M］．北京：高等教育出版社，2006.
［4］王廷才．电工电子技术 Multisim 10 仿真实验［M］．北京：机械工业出版社，2011.
［5］雷跃，谭永红．NI Multisim 11 电路仿真应用［M］．北京：电子工业出版社，2011.
［6］卢艳红．基于 Multisim 10 的电子电路设计、仿真与应用［M］．北京：人民邮电出版社，2009.
［7］郭锁利．基于 Multisim 9 的电子系统设计、仿真与综合应用［M］．北京：人民邮电出版社，2008.
［8］王廷才．电子技术实训［M］．北京：高等教育出版社，2003.
［9］程勇．实例讲解 Multisim 10 电路仿真［M］．北京：人民邮电出版社，2010.

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术／电气工程／电子技术
ISBN 978-7-111-39393-1
策划编辑◎牛新国／封面设计◎路恩中



定价：34.80元